

AIX-MARSEILLE UNIVERSITE
FACULTE DE MÉDECINE DE MARSEILLE
ECOLE DOCTORALE : Sciences de l'Environnement

T H È S E

Présentée et publiquement soutenue devant

LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE MARSEILLE

Le 6 décembre 2013

Par Aurore Lambert

Née le 11/12/1986 à Montreuil-sous-Bois

ETUDE DES MODELES D'ACTIVITES PAR L'ANALYSE FONCTIONNELLE
DU SQUELETTE POST-CRANIEN DE SERIES
OSTEOARCHEOLOGIQUES DU NEOLITHIQUE FINAL EN PROVENCE

Pour obtenir le grade de DOCTORAT d'AIX-MARSEILLE UNIVERSITÉ

SPÉCIALITÉ : Anthropologie biologique

Membres du Jury de la Thèse:

M. Christopher Knüsel , Professeur, University of Exeter, Exeter	<i>Rapporteur</i>
M. Vladimir Sládek , Professeur, Charles University, Prague	<i>Rapporteur</i>
M. Maxence Bailly , Maître de conférences, Aix Marseille Université, Marseille	
Mme. Marie Besse , Professeur, Université de Genève, Genève	
Mme. Fanny Bocquentin , Chargée de recherche, CNRS, Paris/Jérusalem	
M. Laurent Puymeraill , Chercheur associé, Aix Marseille Université/CNRS, Marseille	
Mme. Kathia Chaumoitre , PU-PH, Hôpital-CHU Nord, Marseille	<i>Directrice</i>
Mme. Aurore Schmitt , Chargée de recherche, CNRS, Marseille	<i>Co-directrice</i>

Laboratoire d'accueil : AMU, faculté de médecine/UMR 7268 unité d'anthropologie bio-culturelle, droit, éthique et santé (ADÉS) - CNRS/EFS

*A ma famille et ḥibtu,
"A story that, like all good stories, begins where it ends...in a tower,
in a realm that is no more."
R. T.*

Remerciements

En premier lieu, je remercie les membres de mon jury :

Ma gratitude va aux professeurs C. Knüsel et V. Sládek pour avoir relu mon manuscrit et de leur intérêt à mes recherches. Ce travail ne serait pas aussi abouti sans les remarques et avis constructifs qu'ils ont émis. Je les remercie de rapporter sur une thèse n'étant pas dans leur langue usuelle.

Je remercie le professeur M. Besse d'avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse et de juger ce travail. Je vous suis reconnaissante de l'intérêt que vous portez à mes recherches.

Je remercie F. Bocquentin pour sa main tendue et ses conseils qui m'ont permis de vivre des expériences enrichissantes à l'origine de la genèse de ce travail, il y a bien longtemps maintenant, dans un bus entre Tel-Aviv et Jérusalem.

Je remercie M. Bailly pour avoir accepté de faire partie de mon jury. Vos connaissances m'ont permis d'élargir mes points de vue et votre disponibilité m'a aidé bien souvent à sortir d'impasses.

J'adresse mes remerciements à L. Puymeraill pour les conseils prodigués lors de ma thèse mais aussi pour nos échanges constructifs. Je le remercie de sa participation à mon jury de thèse.

Je remercie mes directrices de thèse K. Chaumoitte et A. Schmitt pour leur patience, leurs conseils et l'aide apportée depuis la maîtrise. Merci pour leurs portes toujours ouvertes et leur disponibilité à toutes épreuves. Merci à A. Schmitt d'avoir cru en ce projet et de m'avoir toujours soutenue, m'aiguillant dans le monde de la recherche en me laissant expérimenter. J'ai pu beaucoup apprendre durant ces années grâce à elle.

Je suis aussi très reconnaissante au professeur M. Panuel et à toute l'équipe du service de radiologie de l'Hôpital Nord de Marseille de leur accueil et des moments passés tard à installer et vite désinstaller les squelettes sur la table du scanner, des cafés et des tranches de vie partagées. Je remercie aussi le Service Régional d'Archéologie pour l'accès aux collections ostéoarchéologiques. Enfin, je remercie le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche de m'avoir accordé une allocation doctorale pour mener à bien ce travail (Allocation MRT 14-2009).

J'adresse ma gratitude à toutes les personnes suivantes pour leur aide :

Entre les murs, ce projet n'aurait pu être réalisé sans l'environnement favorable de travail à l'UMR 7268 (unité d'anthropologie bio-culturelle, droit, éthique et santé ADÉS). Je remercie le directeur de l'unité M. Signoli pour son accueil et l'aide prodiguée, à P. Adalian pour ses conseils et sa ténacité, à Y. Ardagna et son puit (magique) de connaissances, à F. Marchal pour les avis qu'il m'a apporté lors de mes premiers pas dans ce projet, à B. Saliba-Serre pour

l'aide aux mathématiques, pardon !, statistiques et à G. Goeffroy, T. Garcin et E. Favre pour tenir toujours ouvert le centre de documentation et l'ostéothèque pour nous. Enfin, bien qu'en dernière, sa place est particulière, merci à L. Girollet pour à la fois sa patience, son énergie et sa présence de tous les jours et son aide pour affronter vents et marées tout au long de ces années.

En dehors des murs, je remercie vivement B. Bizot présent depuis le début du projet et dont l'aide a été déterminante. Merci à A. D'Anna pour avoir m'avoir aidé lors du débroussaillage de ce projet. Enfin, un grand merci à G. Sauzade. Merci d'avoir participé à l'aboutissement de ce travail mais surtout d'avoir eu le courage de dépasser la première impression de ma grande cuisine et de m'avoir ouvert les portes du Vaucluse.

En toute fin, merci à mes amies du laboratoire (Sandra, Sandy, Gaelle, Modwenn, Emeline Sidious, Louise Vader, Eve, Laureline, Julie), amies avant d'être collègues. Ma gratitude va aussi à celles et ceux de plus longue date : Elodie, Adèle, Elsa, Margaux, Aurélie et Maeva entre autres. Cae, Liv, Scape, Trek, merci d'être là, surtout quand on ne vous attend pas.

Le mot de la fin va sans surprise à ma famille et *hibtu* (LBYT) dont le soutien indéfectible est pour beaucoup dans l'aboutissement de ce travail. A travers les années, chiya, tu es ma Vague. Vous avez vu et supporté toutes les couleurs d'une thèse. Merci semble un mot bien petit pour contenir une mosaïque des sentiments et pourtant *merci*.

Tables des matières

Introduction	17
Chapitre I Cadre de l'étude et problématique	21
<i>I.1 Contexte chrono culturel : le Néolithique final en Provence</i>	23
I.1.1 Partition chronologique du Néolithique final	23
I.1.2 Les sociétés du Néolithique final	27
I.1.3 Contexte environnemental et climatique de la région d'étude et sites sélectionnés	39
<i>I.2 L'influence des sollicitations fonctionnelles en contexte biologique</i>	41
I.2.1 Développement du tissu osseux et sollicitations fonctionnelles	41
I.2.2 Des activités et des squelettes	45
Chapitre II Démarche et méthodes	55
<i>II.1 Présentation des sites et du corpus ostéoarchéologique</i>	57
II.1.1 Sélection des individus des séries ostéoarchéologiques	57
II.1.2 Hypogée des Boileau	58
II.1.3 Hypogée du Capitaine	63
II.1.4 Hypogée de Roaix	67
II.1.5 Dolmen de l'Ubac	74
<i>II.2 Méthodologie</i>	78
II.2.1 Etude préliminaire : diagnose sexuelle et estimation de l'âge au décès	78
II.2.2 Les variables biométriques	79
II.2.3 Les caractères morphologiques ostéoarticulaires	87
II.2.4 L'aspect osseux des entèses	98
II.2.5 Les propriétés géométriques des sections transverses	101
II.2.6 Estimation de la longueur biomécanique des os longs incomplets	110
II.2.7 Mesure de l'asymétrie	118
II.2.8 Traitement statistique de l'analyse conjointe des indicateurs de l'activité	119
Chapitre III Résultats	123
<i>III.1 Analyse fonctionnelle de la série ostéoarchéologique de l'hypogée des Boileau</i>	125
III.1.1 Caractérisation biométrique des sujets de l'hypogée des Boileau	125
III.1.2 Observation des fréquences des caractères morphologiques ostéoarticulaires chez les sujets de l'hypogée des Boileau	133
III.1.3 Observation de l'aspect osseux des entèses chez les sujets des Boileau	137
III.1.4 Analyse fonctionnelle par observation des propriétés géométriques de sections transverses chez les sujets de l'hypogée des Boileau	141
<i>III.2 Comparaison du développement des différents indicateurs de l'activité</i>	161
III.2.1 Comparaison des indicateurs paléopathologiques et morphologiques : lésions enthésopathiques et géométrie de section	161
III.2.2 Comparaison de deux indicateurs morphologiques : la géométrie de section et les caractères morphologiques ostéoarticulaires	166
III.2.3 Comparaison de deux indicateurs morphologiques : la géométrie de section et les indices anatomiques	168
<i>III.3 Analyse fonctionnelles des différents ensembles funéraires collectifs vauclusiens</i>	168
III.3.1 Caractérisation biométrique inter-échantillons	168

III.3.2	Observation des fréquences des caractères morphologiques ostéoarticulaires inter-échantillons	179
III.3.3	Observation de l'aspect osseux des enthèses inter-échantillons	182
III.3.4	Analyse fonctionnelle par observation des propriétés géométriques de sections transverses inter-échantillons	184
<i>III.4</i>	<i>Synthèse générale des résultats</i>	<i>191</i>
III.4.1	Estimation de la longueur biomécanique des os incomplets	191
III.4.2	Analyse fonctionnelle de la série ostéoarchéologique de l'hypogée des Boileau	191
III.4.3	Comparaison du développement des différents indicateurs de l'activité	192
III.4.4	Analyse fonctionnelle des différents ensembles funéraires collectifs vauclusiens	193
Chapitre IV	Discussion	195
<i>IV.1</i>	<i>Estimer la longueur biomécanique d'os incomplets : réalité et limites</i>	<i>197</i>
<i>IV.2</i>	<i>Comparaison du développement des différents indicateurs de l'activité</i>	<i>200</i>
IV.2.1	Relation entre le développement des enthèses et les propriétés géométriques de sections transverses	200
IV.2.2	Relation entre le développement des caractères morphologiques ostéoarticulaires et la robustesse générale des sections transverses	202
IV.2.3	Apport des propriétés géométriques des sections transverses par rapport aux autres indicateurs de l'activité	203
<i>IV.3</i>	<i>Analyse fonctionnelle de la série ostéoarchéologique de l'hypogée des Boileau</i>	<i>204</i>
IV.3.1	Membre supérieur et mode d'exécution des activités au sein de l'hypogée des Boileau	204
IV.3.2	Membre inférieur et mode d'exécution des activités : posture et mobilité au sein de l'hypogée des Boileau	211
IV.3.3	Mise en contexte des modes d'exécution chez les sujets de l'hypogée des Boileau	215
<i>IV.4</i>	<i>Analyse fonctionnelle des différents ensembles funéraires collectifs vauclusiens</i>	<i>227</i>
IV.4.1	Membre supérieur et modes d'exécution des activités au sein des différents ensembles funéraires collectifs vauclusiens	227
IV.4.2	Membre inférieur et mode d'exécution des activités : posture et mobilité au sein des différents ensembles funéraires collectifs vauclusiens	229
IV.4.3	Mise en contexte des modes d'exécution des activités au sein des différents ensembles funéraires collectifs vauclusiens	229
Conclusion et perspectives		233
Références bibliographiques		237

Liste des figures

Figure 1 Cartes de localisation des sites sélectionnés et du relief environnant (à droite : Image Landsat © 2013 Google, à gauche : carte générée par H. Braxmeier, http://www.maps-for-free.com)	40
Figure 2 Vue générale de la surface sépulcrale de l'hypogée des Boileau lors de la fouille (Relevé 10? Cliché E. Mahieu 1989a)	59
Figure 3 Vue de l'hypogée du Capitaine et du châssis tubulaire installé lors de la fouille. On peut remarquer la proximité de la villa avec le site ayant entraînée la fouille et la paroi nord de l'hypogée à droite du cliché (cliché G. Sauzade, 1976)	64
Figure 4 Coupe stratigraphique Nord-Sud de l'hypogée de Roaix. Nos travaux se focalisent sur la couche 2. La description des couches est donnée dans le texte (Courtin 1966).	69
Figure 5 Relevé des niveaux supérieur (A), intermédiaire (B) et inférieur (C) de la couche 2 de l'hypogée de Roaix (G. Sauzade 1983)	71
Figure 6 Vue générale du dolmen de l'Ubac lors de la fouille (cliché G. Sauzade)	76
Figure 7 Illustrations des variables biométriques pour le membre supérieur (clichés ©eSkeleton)	83
Figure 8 Illustrations des variables biométriques pour le membre inférieur (clichés ©eSkeleton)	84
Figure 9 Illustration des caractères morphologiques ostéoarticulaires pour le membre supérieur	90
Figure 10 Illustration des caractères morphologiques ostéoarticulaires pour l'os coxal	90
Figure 11 Illustration des caractères morphologiques ostéoarticulaires pour le fémur	95
Figure 12 Illustration des caractères morphologiques ostéoarticulaires pour les articulations du genou et de la cheville	96
Figure 13 Acquisition des images par CT scan : les os sont disposés selon une orientation standardisée respectant les plans antéro-postérieur (A-P) et médio-latéral (M-L). Cliché A. Lambert	103
Figure 14 Localisation et visualisation des sections transverses retenues sur chaque os. At. : antérieur, md. : médial.	107
Figure 15 Schéma des propriétés géométriques de sections transverses. Les abréviations sont définies dans le texte.	109
Figure 16 Localisation des points de repères, sur chaque os, utilisés pour l'estimation de la longueur biomécanique ou physiologique des os incomplets	113
Figure 17 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les indices anatomiques du membre supérieur pour les sujets de l'hypogée des Boileau	131
Figure 18 Projection du nuage de points selon les trois premières composantes issue de l'ACP intégrant les indices anatomiques du membre supérieur des sujets de l'hypogée des Boileau	132
Figure 19 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les indices anatomiques du membre inférieur pour les sujets de l'hypogée des Boileau	132
Figure 20 Projection du nuage de points selon les deux premières composantes issues de l'ACP intégrant les indices anatomiques du membre inférieur des sujets de l'hypogée des Boileau	133
Figure 21 Analyse des Correspondances Multiples des CMO du membre supérieur des sujets de l'hypogée des Boileau	136

Figure 22 Analyse des Correspondances Multiples des CMO du membre inférieur des sujets de l'hypogée des Boileau	136
Figure 23 Fréquence des lésions (B+C) des insertions du groupe 1 de l'échantillon de l'hypogée des Boileau. Gris clair : enthèses du membre supérieur, gris foncé : enthèses du membre inférieur. Les variables sont explicitées au tableau V.	138
Figure 24 Analyse des Correspondances Multiples des lésions des enthèses du groupe 1 (membre supérieur) des sujets de l'hypogée des Boileau selon le sexe	140
Figure 25 Analyse des Correspondances Multiples des lésions des enthèses du groupe 1 (membre inférieur) des sujets de l'hypogée des Boileau selon le sexe	140
Figure 26 Variation des propriétés géométriques le long de la longueur biomécanique de l'humérus (%) selon la latéralité (D et G) pour chaque sexe au sein de l'hypogée des Boileau	144
Figure 27 Variation des propriétés géométriques le long de la longueur biomécanique du radius (%) selon la latéralité (D et G) pour chaque sexe au sein de l'hypogée des Boileau	150
Figure 28 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les variations du moment quadratique polaire le long du membre supérieur des sujets de l'hypogée des Boileau	155
Figure 29 Projection du nuage de points selon les trois premières composantes issues de l'ACP intégrant les variations du moment quadratique polaire le long du membre supérieur des sujets de l'hypogée des Boileau	156
Figure 30 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les variations du ratio de conformation I_x/I_y le long du membre supérieur des sujets de l'hypogée des Boileau	157
Figure 31 Projection du nuage de points selon les trois premières composantes issues de l'ACP intégrant les variations du ratio de conformation I_x/I_y le long du membre supérieur des sujets de l'hypogée des Boileau	158
Figure 32 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les variations du moment quadratique polaire le long du membre inférieur des sujets de l'hypogée des Boileau	159
Figure 33 Projection du nuage de points selon les deux premières composantes issues de l'ACP intégrant les variations du moment quadratique polaire le long du membre inférieur des sujets de l'hypogée des Boileau	159
Figure 34 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les variations du ratio de conformation I_x/I_y le long du membre inférieur des sujets de l'hypogée des Boileau	160
Figure 35 Projection du nuage de points selon les deux premières composantes issues de l'ACP intégrant les variations du ratio de conformation I_x/I_y le long du membre inférieur des sujets de l'hypogée des Boileau	161
Figure 36 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les indices de robustesse des membres supérieurs féminins de l'échantillon inter-sites	169
Figure 37 Projection du nuage de points sur les axes factoriels 1 et 2 issues de l'ACP intégrant les indices de robustesse des membres supérieurs féminins de l'échantillon inter-sites	169
Figure 38 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les indices de robustesse des membres supérieurs masculins de l'échantillon inter-sites	170

Figure 39 Projection du nuage de points sur les axes factoriels 1 et 2 issues de l'ACP intégrant les indices de robustesse des membres supérieurs masculins de l'échantillon inter-sites	171
Figure 40 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les indices de robustesse des membres inférieurs féminins de l'échantillon inter-sites	171
Figure 41 Projection du nuage de points sur les axes factoriels 1 et 2 issues de l'ACP intégrant les indices de robustesse des membres inférieurs féminins de l'échantillon inter-sites	172
Figure 42 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les indices de robustesse des membres inférieurs masculins de l'échantillon inter-sites	173
Figure 43 Projection du nuage de points sur les axes factoriels 1 et 2 issues de l'ACP intégrant les indices de robustesse des membres inférieurs masculins de l'échantillon inter-sites	173
Figure 44 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les indices diaphysaire des membres supérieurs féminins de l'échantillon inter-sites	174
Figure 45 Projection du nuage de points sur les axes factoriels 1 et 2 issues de l'ACP intégrant les indices diaphysaires des membres supérieurs féminins de l'échantillon inter-sites	175
Figure 46 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les indices diaphysaires des membres supérieurs masculins de l'échantillon inter-sites	175
Figure 47 Projection du nuage de points sur les axes factoriels 1 et 2 issu de l'ACP intégrant les indices diaphysaires des membres supérieurs masculins de l'échantillon inter-sites	176
Figure 48 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les indices diaphysaire des membres inférieurs féminins de l'échantillon inter-sites	177
Figure 49 Projection du nuage de points sur les axes factoriels 1 et 2 issu de l'ACP intégrant les indices diaphysaires des membres inférieurs féminins de l'échantillon inter-sites	177
Figure 50 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les indices diaphysaire des membres inférieurs masculins de l'échantillon inter-sites	178
Figure 51 Projection du nuage de points sur les axes factoriels 1 et 2 issu de l'ACP intégrant les indices diaphysaires des membres inférieurs masculins de l'échantillon inter-sites	179
Figure 52 Analyse des Correspondances Multiples des CMO du membre supérieur des sujets de l'échantillon inter-sites d'après le sexe	181
Figure 53 Analyse des Correspondances Multiples des CMO du membre inférieur des sujets de l'échantillon inter-sites d'après le sexe	181
Figure 54 Analyse des Correspondances Multiples des enthèses du groupe 1 du membre supérieur des sujets de l'échantillon inter-sites d'après le sexe	183
Figure 55 Analyse des Correspondances Multiples des enthèses du groupe 1 du membre inférieur des sujets de l'échantillon inter-sites d'après le sexe	183
Figure 56 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les variations du moment quadratique polaire le long du membre supérieur de l'échantillon inter-sites	184
Figure 57 Projection du nuage de points selon les trois premières composantes issues de l'ACP intégrant les variations du moment quadratique polaire le long du membre supérieur de l'échantillon inter-sites (1 : femmes, 2 : hommes)	185

Figure 58 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les variations du ratio de conformation I_x/I_y le long du membre supérieur de l'échantillon Néolithique inter-sites	186
Figure 59 Projection du nuage de points selon les trois premières composantes issues de l'ACP intégrant les variations du ratio de conformation I_x/I_y le long du membre supérieur de l'échantillon inter-sites (1 : femmes, 2 : hommes)	187
Figure 60 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les variations du moment quadratique polaire le long du membre inférieur de l'échantillon inter-sites	188
Figure 61 Projection du nuage de points selon les deux premières composantes issues de l'ACP intégrant les variations du moment quadratique polaire le long du membre inférieur de l'échantillon inter-sites (1 : femmes, 2 : hommes)	189
Figure 62 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les variations du ratio de conformation I_x/I_y le long du membre inférieur de l'échantillon inter-sites	189
Figure 63 Projection du nuage de points selon les deux premières composantes issues de l'ACP intégrant les variations du ratio de conformation I_x/I_y le long du membre inférieur de l'échantillon inter-sites (1 : femmes, 2 : hommes)	190

Liste des tableaux

Tableau I Proposition de périodisation pour le Néolithique final dans le sud-est de la France selon J. Cauliez (2011) : distribution chronologique des styles céramiques. S : Style.	26
Tableau II Répartition des individus sélectionnés par site et sexe pour chaque ensemble funéraire collectif	58
Tableau III Liste des variables biométriques sélectionnées du membre supérieur et inférieur	82
Tableau IV Liste et codage des caractères morphologiques ostéoarticulaires sélectionnés	96
Tableau V Description des lésions enthésopathiques retenues selon S. Villotte (2008a)	100
Tableau VI Description des points de repères, sur chaque os, utilisés pour l'estimation de la longueur biomécanique ou physiologique des os incomplets	112
Tableau VII Equations de régression et erreur standard de l'estimation de la longueur biomécanique du fémur et de l'humérus selon chaque sexe (Ls, longueur segment osseux)	117
Tableau VIII Comparaison des longueurs biomécaniques estimées à celle mesurées pour l'humérus et le fémur de chaque sexe au sein d'un échantillon ostéologique provençal de validation du Néolithique final. Différence moyenne = [(moyenne estimée - moyenne mesurée) ÷ moyenne mesurée] × 100.	118
Tableau IX Liste des individus de l'hypogée des Boileau à valeurs atypiques pour les indices anatomiques os par os selon le sexe	125
Tableau X Moyennes des mesures et des indices des humérus de l'échantillon de l'hypogée des Boileau et comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney (en gras, $p \leq 0,05$)	125
Tableau XI Moyennes de l'asymétrie bilatérale des variables ostéométriques de l'humérus pour l'échantillon de l'hypogée des Boileau et comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney (en gras, $p \leq 0,05$)	126
Tableau XII Moyennes des mesures et indices des radius de l'échantillon de l'hypogée des Boileau et comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney (en gras, $p \leq 0,05$)	126
Tableau XIII Moyenne de l'asymétrie bilatérale des variables ostéométriques pour le radius de l'échantillon de l'hypogée des Boileau et comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney (en gras, $p \leq 0,05$)	127
Tableau XIV Moyennes des mesures et indices de l'ulna de l'échantillon de l'hypogée des Boileau et comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney (en gras, $p \leq 0,05$)	127
Tableau XV moyennes de l'asymétrie bilatérale des variables ostéométriques pour l'ulna de l'échantillon de l'hypogée des Boileau et comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney (en gras, $p \leq 0,05$)	128
Tableau XVI Moyennes des mesures et indices du fémur de l'échantillon de l'hypogée des Boileau et comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney (en gras, $p \leq 0,05$)	128
Tableau XVII Moyenne de l'asymétrie bilatérale des variables ostéométriques pour le fémur de l'échantillon de l'hypogée des Boileau et comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney (en gras, $p \leq 0,05$)	129
Tableau XVIII Moyennes des mesures et indices du tibia de l'échantillon de l'hypogée des Boileau et comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney (en gras, $p \leq 0,05$)	129
Tableau XIX Moyenne de l'asymétrie bilatérale des variables ostéométriques pour le tibia de l'échantillon de l'hypogée des Boileau et comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney (en gras, $p \leq 0,05$)	130

Tableau XX Fréquence générale des caractères morphologiques ostéoarticulaires par localisation au sein de l'hypogée des Boileau selon le sexe et comparaison homme/femme selon le test de Fisher (en gras, $p \leq 0,05$)	134
Tableau XXI Fréquences générales des lésions enthésopathiques du squelette appendiculaire selon le site d'insertion et le degré de sévérité des sujets de l'hypogée des Boileau. Les sites d'insertions appartiennent au groupe 1 lié à la pratique d'activités physiques.	137
Tableau XXII Fréquences générales des lésions enthésopathiques des membres selon la présence et le degré de sévérité pour les insertions du groupe 1 des sujets l'hypogée des Boileau. A gauche, selon la latéralité et la localisation des insertions et à droite, selon le sexe	139
Tableau XXIII Propriétés géométriques et dimorphisme sexuel biomécanique huméral à 35% de la diaphyse au sein de l'échantillon de l'hypogée des Boileau. Comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney (en gras, $p \leq 0,05$). $*[(\text{homme} - \text{femme})/\text{femme}] \times 100$.	141
Tableau XXIV Asymétrie sexuelle bilatérale des propriétés géométriques de sections transverses humérales à 35% de la longueur biomécanique au sein de l'échantillon des Boileau. Comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney	145
Tableau XXV Propriétés géométriques et dimorphisme sexuel biomécanique radial à 50% de la longueur biomécanique au sein de l'échantillon de l'hypogée des Boileau. $*[(\text{homme} - \text{femme})/\text{femme}] \times 100$ et comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney	146
Tableau XXVI Asymétrie sexuelle bilatérale des propriétés géométriques de sections transverses radiales à 50% de la longueur biomécanique au sein de l'échantillon des Boileau. Comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney	149
Tableau XXVII Propriétés géométriques et dimorphisme sexuel biomécanique ulnaire à 50% de la diaphyse au sein de l'échantillon de l'hypogée des Boileau. $*[(\text{homme} - \text{femme})/\text{femme}] \times 100$ et comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney	151
Tableau XXVIII Asymétrie sexuelle bilatérale des propriétés géométriques de sections transverses ulnaires à 50% de la longueur biomécanique au sein de l'échantillon des Boileau. Comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney	152
Tableau XXIX Propriétés géométriques et dimorphisme sexuel biomécanique du fémur à 50% de la diaphyse au sein de l'échantillon de l'hypogée des Boileau. $*[(\text{homme} - \text{femme})/\text{femme}] \times 100$ et comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney	153
Tableau XXX Propriétés géométriques et dimorphisme sexuel biomécanique du tibia à 50% de la diaphyse au sein de l'échantillon de l'hypogée des Boileau. $*[(\text{homme} - \text{femme})/\text{femme}] \times 100$ et comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney	154
Tableau XXXI Statistiques descriptives des variations du moment quadratique polaire le long de la diaphyse humérale des sujets de l'hypogée des Boileau d'après le sexe et la latéralité. Comparaison des variables selon le test de Mann-Whitney	162
Tableau XXXII Fréquences générales d'apparition des enthésopathies humérales des sujets de l'hypogée des Boileau d'après le sexe et la latéralité. Comparaison des variables selon le test de Fisher	162

Tableau XXXIII Dimorphisme sexuel de l'asymétrie bilatérale des lésions enthésopathiques et du moment quadratique polaire J le long de l'humérus des sujets de l'hypogée des Boileau. Comparaison des variables selon les tests de Mann-Whitney (pour J) et de Fisher (enthésopathies)	163
Tableau XXXIV Modèle final de l'analyse par GEE de la relation entre les lésions enthésopathiques et le moment quadratique polaire le long de la diaphyse de l'humérus des sujets de l'hypogée des Boileau. IC : intervalle de confiance.	164
Tableau XXXV Statistiques descriptives des variations du moment quadratique polaire le long de la diaphyse fémorale des sujets de l'hypogée des Boileau d'après le sexe et la latéralité. Comparaison des variables selon le test de Mann-Whitney	164
Tableau XXXVI Fréquences générales d'apparition des enthésopathies fémorales des sujets de l'hypogée des Boileau d'après le sexe et la latéralité. Comparaison des variables selon le test de Fisher	165
Tableau XXXVII Modèle final de l'analyse par GEE de la relation entre les lésions enthésopathiques et le moment quadratique polaire le long de la diaphyse du fémur des sujets de l'hypogée des Boileau. IC : intervalle de confiance.	166

Introduction

Contexte archéologique

Le Néolithique final dans le sud-est de la France s'étend de **la seconde moitié du IV^{ème} millénaire et au long du III^{ème} millénaire**. Les sociétés du Néolithique final sont perçues comme un ensemble de différentes traditions culturelles co-existantes de manière contemporaine sur des territoires restreints (D'Anna 1995a). Les limites des espaces d'influence, leurs origines, interactions, mutations, imbrications sont difficiles à saisir. Les limites géographiques et chronologiques restent donc flottantes (Lemerrier et al. 2004a). Cependant, des travaux récents basés sur le médium céramique ont montré qu'il était possible d'appréhender plus finement les relations interculturelles et leur évolution sans tomber dans le piège de réduire ces cultures matérielles à des cultures au sens ethnologique du terme (Cauliez 2011).

Malgré des signes de changement au sein de ces sociétés, elles intègrent des évolutions des traditions héritées des groupes du Néolithique moyen. **Des changements technologiques** mais aussi **sociaux et idéologiques** sont perçus au sein de ces sociétés.

L'industrie lithique peut être divisée en deux groupes au début du Néolithique final : celui dont les spécificités n'ont plus rien à voir avec celles du Néolithique moyen et celui où cette influence est encore perceptible (Lemerrier 2007). On constate la diffusion de la traction animale grâce à des innovations telles que la roue, les attelages, l'apparition de l'araire et peut-être même déjà l'utilisation du *tribulum* (Khedhaier et al. 2003, Pétrequin et al. 2006a).

Les sociétés sont comme au Néolithique moyen perçues comme ayant une économie gravitant autour de l'agriculture et de l'élevage. L'implantation des habitats augmente et s'étend mais s'effectue toujours sur des sites occupés à la période précédente tout en montrant des différences quant à l'utilisation de certaines topographies et à l'architecture (Lemerrier et al. 2004a). Des constructions dites monumentales apparaissent telles que les ensembles funéraires collectifs ou les enceintes.

De nouveaux réseaux d'échanges apparaissent comme celui des grandes lames de silex oligocène d'Apt-Forcalquier alors que disparaît celui du silex blond bédoulien (Renault 1998, Honegger 2006). Les premiers objets en métal et leur copie en silex circulent tout en

possédant une valeur symbolique (Courtin et al. 1975, Ambert 2002, Bailly 2002). L'art anthropomorphe se développe avec l'exemple des stèles et statues menhirs {D'Anna, 2004 #334}. Les styles céramiques montrent l'emprunt de traits spécifiques à d'autres groupes exogènes tant à l'échelle régionale qu'entre zone éloignées tout en étant liés à des traits centripètes et identitaires (D'Anna 1995a, 1995b, Cauliez 2011).

Les groupes provençaux suivent donc sur certains points un phénomène de micro régionalisation c'est-à-dire la délimitation et le fonctionnement sur un territoire réduit d'un phénomène. On peut citer le développement de faciès céramiques spécifiques, l'approvisionnement plutôt local des matières premières ou encore le marquage du territoire par les sépultures collectives. Cependant, les groupes s'influencent concernant les styles céramiques, établissent des réseaux d'importations et d'exportations à longue distance et permettent la diffusion d'idées (traction animale, ensemble collectif funéraire, copie symbolique d'objets en métal, statues-menhirs). Ces groupes dépendent donc aussi de sphères d'influence exogènes.

Les sociétés néolithiques sont définies par ces deux sphères d'influence aux échelles différentes. Loin d'être un paysage figé, la fin du Néolithique dans le sud-est de la France est culturellement complexe.

Des activités et des os

Grâce au principe de plasticité des os, le squelette est utilisé afin d'appréhender les activités physiques régulières des populations passées. Le tissu osseux porte la marque des stimulations fonctionnelles lui étant infligé au cours de la vie d'un individu (Pearson et Lieberman 2004, Ruff et al. 2006a, Villotte 2008a). Les activités signifient ici **l'ensemble des actes quotidiens et réguliers d'un sujet nécessaires au maintien des conditions matérielles d'existence du groupe humain. Les modes d'exécution des activités définissent les comportements des sujets afin de restituer en partie leur mode de vie.**

En 1989, K. Kennedy publiait une liste de ce qu'il nommait « **Skeletal Markers of Occupational Stress** » ou **Marqueurs Ostéoarticulaires d'Activités** (MOA, Dutour 1992). Complétée en 1999 par Capasso et collaborateurs, elle comprend une série de manifestations osseuses sur le squelette appendiculaire accompagnée de l'éventuelle activité physique les ayant causées. Il est possible de les diviser en trois grandes familles selon leur nature:

- **Les adaptations structurales** : l'architecture osseuse s'adapte aux sollicitations mécaniques subies par le squelette d'après un modèle simplifié (Knüsel 2000, Martin 2000, Ruff 2008). Ces adaptations modifient les dimensions et la conformation de l'os selon les caractéristiques des contraintes : amplitude, intensité, direction... Parmi les outils que nous avons sélectionnés, la géométrie de section permet d'estimer la capacité de l'os à résister aux forces biomécaniques en mesurant les propriétés géométriques sur les sections transverses de la diaphyse de chaque os long. De plus, nous avons utilisé la biométrie classique permettant d'acquérir la conformation et le format externe des os (mesures et indices anatomiques).

- **Les caractères morphologiques ostéoarticulaires** : il s'agit de manifestations osseuses telles que des facettes articulaires surnuméraires, des extensions de surface articulaire, des fosses...Elles ne sont pas de nature pathologique mais certains auteurs pensent qu'elles découlent autant d'une influence génétique que mécanique (Capasso et al. 1999, Voisin 2012). Plusieurs de ces caractères ont été choisis.

- **Les manifestations paléopathologiques** : certaines lésions sont considérées comme étant la marque d'une activité. Elles sont organisées en deux groupes selon Dutour (1992) : traumatiques et microtraumatiques. Les premières sont plutôt accidentelles. Les secondes sont considérées comme de meilleurs indicateurs de l'activité régulière sans un caractère accidentel. On trouve dans cette dernière catégorie le développement des enthèses, zones d'insertions musculaires et tendineuses, que nous allons étudier.

Les études s'intéressant à la comparaison des différents indicateurs sont peu nombreuses. Pourtant, même si on considère que ces indicateurs subissent une influence des contraintes mécaniques, leur nature est différente et leur origine multifactorielle (Dutour 1992, Martin 2000, Claudepierre et Voisin 2005, Voisin 2012). La plupart des études utilisant ces indicateurs s'intéressent aux activités pratiquées et/ou à leurs modalités d'exécution (Knüsel 2000, Holt et Formicola 2008, Ruff 2008, Villotte 2008a).


La caractérisation biologique et fonctionnelle de plusieurs populations du Néolithique final provençal est une approche nouvelle pour restituer une partie des modes de vie. En effet,

les modèles définissant les stratégies de subsistance et quantifiant la mobilité découlent jusqu'à maintenant principalement des vestiges archéologiques, et non directement des archives biologiques. Une caractérisation fonctionnelle pour cette période n'a encore jamais été réalisée tant pour un gisement qu'à l'échelle départementale. Enfin, les adaptations de la structure osseuse ne sont pas semblables entre les os et les différentes parties de celui-ci, sous l'effet d'une même contrainte (Ruff et al. 1991, Lieberman et al. 2001). Afin d'avoir une lecture fine d'une sollicitation biomécanique sur l'ensemble du squelette, nous avons sélectionné l'intégralité des os longs des membres, excepté la fibula. L'analyse des propriétés géométriques de sections transverses nous permettra d'appréhender les variations des adaptations structurelles tout le long des diaphyses des os longs de manière précise.

Les présents travaux ont un double objectif :

- D'un point de vue méthodologique, **l'analyse conjointe des différents indicateurs de l'activité sur un même échantillon**. Le but est de qualifier la relation entre le développement des divers indicateurs sous l'effet des contraintes mécaniques.

- Concernant **l'analyse fonctionnelle d'ensembles funéraires collectifs**, notre approche se situe dans un premier temps **à l'échelle d'un gisement : l'hypogée des Boileau**. Nous cherchons à caractériser les modes d'exécution des activités afin d'appréhender les comportements de ces individus grâce aux divers indicateurs. Nous souhaitons saisir une éventuelle division sexuelle des tâches ainsi que les variations de mobilité afin de percevoir l'existence de spécificité ou d'homogénéité des individus. L'hypogée des Boileau a été sélectionné comme site principal d'étude de par le bon état de préservation de la série ostéarchéologique et le nombre d'individus ayant déjà permis une précédente étude paléobiologique (Devriendt 2004a). Dans un second temps, **à l'échelle départementale**, nous chercherons à percevoir si ces comportements sont analogues ou particuliers entre quatre gisements vauclusiens du Néolithique final : l'hypogée des Boileau, l'hypogée du Capitaine, l'hypogée de Roaix et le dolmen de l'Ubac.



Chapitre I

Cadre de l'étude et problématique

Chapitre I. Cadre de l'étude et problématique

I.1 Contexte chrono culturel : le Néolithique final en Provence

I.1.1 Partition chronologique du Néolithique final

Les chronologies et essais de périodisation du Néolithique final dans le sud de la France sont nombreux (Voruz et al. 1995). L'appellation « final » correspond à la période s'étendant de la fin du Néolithique moyen jusqu'au début du Bronze ancien, soit entre 3500 et 2200 av. J.-C. (D'Anna 1995a, b). Les essais de périodisations sont une problématique actuelle comme en témoigne le colloque « Chronologies de la Préhistoire récente dans le Sud de la France. Acquis 1992-2012 » des 10^{ème} Rencontres Méridionales de Préhistoire récente en 2012.

Le Néolithique final est une période au cours de laquelle coexistent et se succèdent différentes cultures matérielles identifiées principalement par des styles céramiques originaux (forme et style décoratif) en grande partie d'après le Néolithique Languedocien : Fraischamp, Couronnien, Rhône-Ouvèze, Nord-Vaucluse en Provence (Voruz et al. 1995). Chacun d'entre eux s'est vu attribuer un territoire d'extension avec des frontières culturelles fermes et une réalité sociale, se distinguant fortement de ces voisins, standardisés, et peu étendus chronologiquement (Jallot et D'Anna 1990). Environ une quinzaine d'entités culturelles ont été recensées selon un fort aspect de régionalisation (Lemercier et al. 2004a).

M. Escalon de Fonton a établi une première périodisation du Néolithique final provençal dans les années 1950-1960 (Escalon de Fonton 1956, 1963). Ce travail fut modifié par la suite par de nombreux travaux comme celui proposé par J. Courtin (1976). Les modifications ultérieures résultent du développement des fouilles précisant cette séquence chrono-culturelle, notamment des fouilles récentes de grands habitats. La chronologie proposée par A. D'Anna (1995b) et basée sur la chronologie languedocienne subdivise le Néolithique final en se focalisant sur l'organisation générale de la période. Elle insiste sur la régionalisation des groupes et met en avant les influences inter-groupes de Provence et du Languedoc :

- **Ia** : période de remaniement matériel entre le Néolithique moyen et final désignée sous le nom discuté de « Néolithique récent » 3700-3300 av. J.-C.

- **Ib** : émergence des principaux groupes culturels à faciès régionaux définis du Néolithique final (Fraischamp, Couronnien) 3300-3100 av. J.-C.
- **IIa** : diffusion d'objets en cuivre, période de mutations, apparition des groupes Rhône-Ouvèze et Nord-Vaucluse, maintien du groupe Couronnien 3100-2800 av. J.-C.
- **IIb** : diffusion du phénomène Campaniforme et continuité des groupes de la phase IIa 2800-2400 av. J.-C.

Une proposition récente revoit l'organisation des groupes culturels et rajoute une phase supplémentaire (Lemerrier 2007). La succession chronologique des groupes, leur synchronie et le partage d'influence inter-groupe (Provence et Languedoc) sont mis en avant :

- **0** : « Néolithique récent » 3700-3400 av. J.-C.
- **1** : émergence de certains groupes culturels à faciès régionaux définis du Néolithique final (Fraischamp, Couronnien) 3400-2900 av. J.-C.
- **2** : période de mutations : apparition du groupe Rhône-Ouvèze, maintien du Couronnien 2900-2500 av. J.-C.
- **3** : apparition et diffusion du phénomène Campaniforme, continuité du Rhône-Ouvèze 2500-2300 av. J.-C.
- **4** : disparition des groupes du Néolithique final, apparition d'objets en bronze et céramiques à décor barbelé 2200-1900 av. J.-C.

L'influence des cultures matérielles languedociennes sur les provençales a été repensée dans les études sur les origines des groupes afin d'envisager une évolution locale des groupes du Néolithique final (D'Anna 1995b). Il y a donc des apports multipolaires à l'origine des groupes (*idem*). Leurs origines, mutations et interactions demeurent discutées.

Le Néolithique récent a été proposé comme une phase ancienne jouant un rôle dans la formation du groupe de Fraischamp (D'Anna 1995b). Ce dernier est perçu comme découlant d'influences multipolaires (D'Anna 1995b). La technique et répertoire du décor céramique, la parure, les haches polies en éclogite peuvent faire penser à une culture du Néolithique moyen. Des influences languedociennes entre autres du groupe de Ferrières sont aussi envisagées (Cauliez 2010).

Le Couronnien possède une aire géographique que l'on peut calquer sur celle des dolmens à chambre allongée (D'Anna 1999). La part des influences languedociennes sur son origine est problématique. La culture contemporaine en Languedoc du Ferrière s'étendrait

jusqu'en Provence sur les sites des hypogées de Fontvieille dans les Bouches-du-Rhône (Sauzade 1990) ou encore de la Fare à Forcalquier dans les Alpes-de-Hautes-Provence (Lemerrier et al. 2004b). Il est simplement proposé que le Néolithique récent a permis l'apparition de nouveaux groupes culturels dans le Languedoc (D'Anna 1995b). Il n'est pas exclu que le Couronnien se soit développé à partir de groupes locaux dont la culture matérielle n'a plus rien à voir avec celle du Néolithique moyen ou bien qu'il ait été réadapté durant le Néolithique récent (Lemerrier 2003, Margarit 2010, Van Willigen 2010).

Différents scénarios sont envisagés pour le fonctionnement du groupe Rhône-Ouvèze selon les auteurs. Néanmoins, l'origine de ce groupe pour tous les auteurs est à chercher à la fois dans une évolution locale et des apports exogènes. De manière contemporaine, le groupe de Fontbuisse existe dans le Languedoc. Les origines du Rhône-Ouvèze pourraient se trouver :

- dans une diffusion du Fontbuisse après une première influence Ferrière du milieu provençal (D'Anna 1995b)
- dans une diffusion du Fontbuisse au sein du groupe Fraischamp local (*idem*)
- dans le résultat des interactions Fraischamp, Ferrière, et Fontbuisse (*idem*)
- dans un apport Fontbuxien entraînant la disparition du Couronnien et l'évolution du groupe Rhône-Ouvèze dans ce milieu local suite à une révision de la chronologie des groupes (Lemerrier et al. 2003, Cauliez 2010).

La particularité du faciès Nord-Vaucluse est d'être défini uniquement en contexte funéraire et quasiment de manière exclusive par les hypogées du Nord-Vaucluse et de la Drôme (Sauzade 1983). Nous détaillerons donc les caractéristiques typologiques et stylistiques de la céramique. Situé au nord du territoire du groupe Rhône-Ouvèze, cet ensemble est défini par la céramique issue des hypogées des Echaffins (Cairanne), du Capitaine (Grillon) et de Roaix (Sauzade et al. 1990). Vu la ressemblance avec les céramiques du site de Fraischamp à la Clairière, A. D'Anna (1995b) a perçu ce groupe comme une évolution du Fraischamp avec des influences exogènes de la Drôme et du Var mais pas du Languedoc. La céramique est représentée par des formes simples cylindro-sphériques ou tronconiques, les exemples carénés étant rares (Sauzade 1983, 1998, Cauliez 2010). Les récipients sont plutôt petits. Les décors sont constitués de tétons prismatiques parfois reliés par des cordons (préhension), de cordons appliqués en H ou X autour des tétons et de pastillage. La fonction sépulcrale des céramiques, le faible nombre d'objets, l'utilisation sur le

long terme des hypogées et le confinement à aire géographique réduite soulève le problème de la précision de sa définition, voire même de sa tangibilité. Il ne serait pas sûr que le mobilier ne s'inscrive qu'au sein d'une unique entité culturelle et chronologique (A. D'Anna 1995b, Cauliez 2010). En se basant sur des ressemblances typologique et stylistique de la céramique entre deux groupes, A. D'Anna (1995b) le perçoit comme un faciès géographique du Rhône-Ouvèze. Plus précisément, il serait le style funéraire du Rhône-Ouvèze vu le caractère uniquement sépulcral des sites définissant le groupe Nord-Vaucluse. Les travaux de J. Cauliez (2010) proposent que ce groupe soit un point de transition entre des complexes fédérateurs.

La définition rigide de certains faciès a récemment engendré un questionnement sur leur réalité, les dynamiques d'échanges régionales et la redéfinition des groupes culturels (Cauliez 2010). Celle-ci, inhérente aux découvertes, a dans un premier temps limitée la compréhension de leurs interactions, variabilité géographique et temporelle, homogénéité/spécificité... En élargissant le champ géographique quand cela est nécessaire comme pour les groupe Fraischamp et Nord-Vaucluse, il apparaît à quel point il s'agit d'entités isolées par leurs spécificités fonctionnelles et leur implantation. Les groupes Couronnien et Rhône-Ouvèze semblent trop homogènes. Les travaux de J. Cauliez (2010, 2011) montrent que le paysage du Néolithique final n'est pas figé dans un localisme culturel. Ils soulignent aussi la rigidité du système réduisant un groupe à un style céramique. En se recentrant sur le médium céramique, J. Cauliez (2011) propose de nouvelles dynamique et évolution des styles céramiques et réduit le nombre de groupes provençaux (Tableau I). Des interactions importantes avec l'Italie du Nord, le Languedoc et l'axe Saône-Rhône sont mis en évidence par cette auteure tout en soulignant un fort régionalisme. Il semblerait que cette zone soit une interface culturelle loin d'être hermétiquement cloisonnée (Cauliez 2011).

Horizon 2	Horizon 3	Horizon 4
2900-2850 à 2600-2550 avt. J.-C.	2600-2550 à 2400-2350 avt. J.-C	2400-2350 à 1950 avt. J.-C
S1 Couronnien Limon Raspail	S4 Fontbouisse étapes 2 et 3	S8 Plan Saint Jean
S2 Mourre du Tendre	S5 Crottes II	S9 Pendimoun
S3 Crottes I et Charavines	S6 La Fare	
S4 Fontbouisse étapes 1	S7 Chauve Souris	

Tableau I Proposition de périodisation pour le Néolithique final dans le sud-est de la France selon J. Cauliez (2011) : distribution chronologique des styles céramiques. S : Style.

Pour une revue complète des styles et de leur définition, il faut se reporter à J. Cauliez (2011). Nous ne traiterons ici que des styles Crottes I et II auxquels se rapportent les hypogées dans le nord du Vaucluse. Son contexte est principalement funéraire. Potentiellement étendu dans les Hautes-Alpes et en Moyenne Durance, quelques influences des autres styles méridionaux apparaissent dans le Crottes I tout comme des éléments de référence nord-italien. Il est aussi question des pointes de Sigottier en silex (Hautes-Alpes, Drôme et Ardèche) et du fait que leur production s'inspirerait de pointes de métal utilisées pour les retouches des poignards italien de type Remedello. J. Cauliez (2011) propose que les sites funéraires soient liés à un complexe subissant des influences italiennes et non uniquement dépendant des groupes du sud-est de la France. Le style Crottes II a évolué depuis le Crottes I dans le même espace géographique. Ce second style est marqué à la fois par des traditions septentrionale et méridionale.

I.1.2 Les sociétés du Néolithique final

La partie suivante présente des données archéologiques, paléobotaniques, archéozoologiques restituant les pratiques des sociétés du Néolithique final afin de répondre à leurs conditions d'existence matérielle. Elles permettent d'établir des schémas généraux que nous tenterons d'éprouver par l'analyse fonctionnelle des restes osseux.

I.1.2.1 *La sphère domestique*

Implantation des sites et habitats

Le nombre de sites fouillés augmente de manière importante au Néolithique final par rapport à la période précédente : 280 sont recensés juste pour le Vaucluse, soit presque quatre fois plus (D'Anna 1995a, Lemerrier et al. 2004a). Certains auteurs y voient un **essor démographique** sans doute lié aux innovations technologiques et au développement de l'économie de l'agriculture et de l'élevage (Lemerrier et al. 2004a). Par ailleurs, le maillage d'implantation des sites est bien plus **dense et varié** : basses altitudes comme en plaines (le Collet-Redon, Bouches-du-Rhône) et hautes altitudes tels que des éperons barrés comme à la Citadelle dans le Vaucluse (D'Anna 1995a, Berger 1996, Lemerrier et al. 2004a). Les types

d'implantation vont de l'unité fonctionnelle de base à des hameaux, témoignages d'habitats permanents et parfois à fonction spécialisée (Lemerrier et al. 2004a).

Il est possible que cette augmentation et la variété des sites d'une période à l'autre ne soit qu'un artefact de la recherche. L'implantation en plein air varie selon le choix de la topographie qui engendre une grande variété d'organisation des habitats. Toutes les hauteurs sont colonisées avec variation des installations au cours de la période, notamment entre les zones de plaine et des sites perchés. Les sites de hauteur intermédiaire tels que les cols ou les plateaux sont aussi utilisés. Cette occupation soulève la question du choix du site d'installation et quelle est la part culturelle dans le choix de la topographie (type habitat, forme habitat, nature du terrain, matériaux de construction). Par exemple, l'utilisation principale des grottes pour la période ne semble pas être liée à l'habitat mais au domaine funéraire et/ou à des activités spécifiques comme le parcage des troupeaux (Lemerrier et al. 2004a). Les implantations montrent une réelle organisation interne avec parfois des occupations longues ou successives dont témoignent les indices architecturaux. Les organisations des sites diffèrent selon le type d'implantation et peuvent être difficiles à appréhender à cause de l'érosion notamment (D'Anna 1990, Lemerrier et al. 2004a, Lemerrier et Gilibert 2009). Selon les sites, les superficies varient de manière importante, même au sein d'un même groupe culturel : de 800m² pour La Citadelle à 20ha pour les Fabrys (Gutherz 2008). Cela pourrait signifier qu'il y a parfois de potentiels regroupements de l'habitat. Ces dimensions diminuent vers la fin de la période (Lemerrier and Gilibert 2009). Afin d'illustrer l'organisation interne, un site comme les Calades (Orgon, Bouches-du-Rhône) a livré des murs de limitations et plusieurs unités d'habitations (Barge 1989) comme c'est le cas pour les Lauzières (Lourmarin) dans le Vaucluse (Lemerrier et Gilibert 2009) ou au Collet-Redon à Martigues dans les Bouches-du-Rhône (Gilibert et al. 2004). Cependant, le nombre d'unités d'habitations varie selon les sites. D'autres sites tels que le Mourre-du-Tendre (Courthézon, Vaucluse) ou les Fabrys (Bonnieux, Vaucluse) laissent envisager des structures en creux et l'existence de types d'architecture en terre massive ou avec des moellons en terre (Lemerrier et al. 2004a).

Concernant les techniques de construction de l'habitat, les sites des Martins (Roussillon, Vaucluse) ou encore des Lauzières ont livrés des fragments de torchis avec l'empreinte d'un clayonnage de branches (Lemerrier et al. 2004a). La réalisation de cloison s'effectuait donc notamment avec de la terre sur armature de bois. La pierre était aussi utilisée pour le sous-bassement ou l'intégralité d'un mur. Les matériaux semblent avoir été souvent

combinés. Des caractéristiques architecturales communes aux groupes culturels sont constatées tout comme des traits spécifiques (Lemerrier et Gilibert 2009).

Par ailleurs, entre la fin du IV^{ème} et le milieu du III^{ème} millénaire, une distinction va s'opérer entre habitats ouverts et habitats avec dispositif d'enceinte principalement de type Couronnien. Ces enceintes sont de types divers :

- construction en pierre sèche avec un double parement à remplissage interne comme à la Citadelle à Vauvenargues dans les Bouches-du-Rhône (D'Anna 1989) ou aux Lauzières (D'Anna 1990)
- enceintes fossoyées et palissades en bois comme aux Fabrys ou aux Martins (D'Anna 1990)
- enceintes à fossés interrompus à mur de pierre uniquement à la Fare (Lemerrier et Müller 1999)

Leur fonction précise reste obscure. Elles sont parfois utilisées comme témoignage de pressions territoriales suite à la densification du maillage des habitats. Cependant, dans la plupart des cas, le site entier n'étant pas enclos totalement, nous ne pouvons que spéculer sur sa valeur protectrice ou pratique pour les animaux qui est peut-être plutôt structurelle (Lemerrier et al. 2004a, Blaise 2010). Dans la seconde partie du Néolithique final, les enceintes ne sont plus construites mais les sites sont parfois réoccupés (Lemerrier et al. 2004a).

Economie agricole et animale

D'après les restes carpologiques, les plantes exploitées à la fin du Néolithique ne subissent pas de changements significatifs par rapport à la période précédente: l'utilisation de différents types de blés et d'orges vêtues se développent (Lemerrier et al. 2004a). Si les modes de culture restent vagues, de nombreux témoins indirects traduisent une évolution de l'économie agraire, de sa maîtrise et de la multiplication des mises en culture comme nous allons le voir notamment grâce aux études paléo-environnementales.

Les études palynologiques mettent en avant l'extension du chêne vert, du buis et du pin d'Alep dans le paysage (Vernet 1995, Andrieu-Ponel et al. 2000). Ces arbres se développent en milieu ouvert de type garrigue et soulignent entre autres l'anthropisation

marquée du paysage. En effet, **l'homme ouvre le paysage**, défriche de manière importante pour répondre aux besoins de son économie agricole et d'élevage tant dans les massifs qu'en plaine (Berger 1996, Olivier 2006). Néanmoins, des secteurs restent peu marqués par l'anthropisation. Par ailleurs, malgré son importance, il n'est pas possible d'imaginer un rythme continu et constant de cette dernière à travers la Provence et la période. Des phases d'emprises et de déprises ont été mises en évidence (Olivier 2006).

Concernant les artefacts archéologiques, on peut citer les structures en creux du Moure-du-Tendre ou de la colline Saint-Laurent (Courthézon, Vaucluse) interprétées comme des silos à grains. Les morceaux de torchis retrouvés entre autres sur les sites énumérés *supra* ne sont pas seulement des indicateurs de l'architecture domestique. La fabrication du torchis nécessite l'inclusion de végétaux dont des céréales. Le site des Lauzières a aussi livré des vases emplis de grains de blé (Lemerrier et al. 2004a). Il y a donc une stratégie de stockage et de conservation *in situ* des aliments végétaux.

Les outils agraires sont retrouvés en nombre sur les sites (Lemerrier et al. 2004a, Binder et Bostyn 2008): haches ayant pu servir pour l'essartage, lames de silex, meules, broyeurs...comme aux Lauzières, la colline Saint-Laurent ou la station de Gès à Bonnieux, Vaucluse (Lemerrier et al. 2004a). Les meules sont ovoïdes et nécessitent un mouvement antéro-postérieur et non supéro-inférieur lors du broyage des grains. Les lames de silex des Lauzières, de l'hypogée du Capitaine (Grillon, Vaucluse) et de la Brémone (Buoux, Vaucluse) montrent des traces de lustrés liées notamment aux travaux agricoles. Elles ont pu servir comme armature de faucille. Les travaux de Khedhaier et collaborateurs (2003) indiquent que les grandes lames en silex oligocènes de la période ont pu servir d'armatures de *tribulum*. On peut ainsi envisager l'introduction de la paille hachée dans la préparation des terres architecturales comme le torchis. Cela montre l'optimisation des produits agricoles.

L'innovation de la période est l'utilisation de **la force de travail des bovins** dans la **traction animale** pour le portage et le transport permettant entre autres le développement de l'agriculture de type sarclée (Pétrequin et al. 2006a). Des innovations technologiques permettant cela font leurs apparitions telles que l'araire, les travois, la roue ou le char (Cauwe et al. 2007). Il s'agit plus d'une intensification de l'utilisation de la force animale que d'une nouveauté (Pétrequin et al. 2006c).

Les indices directs de l'utilisation de l'énergie animale sont assez rares mais il est possible d'identifier sur le squelette de bovidés des lésions en découplant au niveau des

vertèbres, chevilles des cornes et extrémités des membres (Lignereux et al. 2006, Cupere et Duru 2009). De telles pathologies ont été décelées au Collet-Redon dans les Bouches-du-Rhône à la fin du IV^{ème} millénaire (Blaise 2005). D'autre part, une proportion importante d'animaux gardés jusqu'à un âge avancé peut indiquer leur utilisation comme bête de trait (Mashkour 2001, Blaise 2010).

La plupart des témoignages pour le Néolithique final ne sont pas locaux et proviennent d'Europe du Nord ou des Alpes. Ils prennent des formes diverses selon les régions et leur environnement. Par exemple, les roues sont des artefacts récurrents dans le Nord-Ouest des Alpes comme celles du site de Vinelz (BE, suisse). Néanmoins, elles apportent peu d'informations sur la superstructure de l'engin agricole. La plus ancienne roue est datée de 3200 av. J.-C. à Zurich-Akad en Suisse (Ruoff 2006). On peut ainsi citer le travois et les jougs de corne de la station 19 de Chalain (Jura) qui est entier vers 3100 avant J.-C. (Pétrequin et Pétrequin 2005). Le plus ancien joug de cou est celui d'Arbon/Bleiche 3 vers 3384-3370 av. J.-C. (Leuzinger (2000) cité par Pétrequin et al. 2006b). Le type de véhicule reste inconnu : chariot, araire ou travois (*idem*). Ce site est particulier puisque la présence de bovins abattus à un âge avancé et des pathologies osseuses sur les bovins sont décelables. Les preuves de l'utilisation de l'araire datent de la seconde moitié du IV^{ème} millénaire. Il s'agit le plus souvent de sillons fossilisés aux Pays-Bas à Oostersingel (3330-2800 av. J.-C.) ou en Italie à Saint-Martin-de-Corléans (Aoste) vers 2750-2700 av. J.-C. (Louwe Kooijmans 2006, Pétrequin et al. 2006b). Les araires semblent tous ultérieurs au Néolithique à l'exception du fragment d'Ezerovo mais dont Pétrequin et collaborateurs (2006b) précisent que seule une photographie sans échelle a été publiée. Autre indice, la construction de chemin et le transport de tronc en rondin de bois peuvent être liés à la pratique du débardage et à l'utilisation de la traction animale. Cela ne peut être prouvé qu'en retrouvant ensemble et *in situ* des artefacts tels que des roues et des jougs comme sur le site de Concise en Suisse (Winiger 2006). Le chemin de rondins de Nieuw Dortrecht (Pays-Bas) est soupçonné d'être antérieur à la traction animale vers 2600-2500 av. J.-C. (Pétrequin et al. 2006b). Dans le domaine de l'art et de l'artisanat, on retrouve dès 3637-3373 av. J.-C. une représentation de véhicules à roue sur des vases en Pologne à Bronocice et des céramiques en forme de chariot comme à Budaklasz en Hongrie après 3500 av. J.-C. (Vosteen 2006). Plus tardivement, les gravures rupestres de Fontanalbe et de la vallée des Merveilles du mont Bégio (Alpes-Maritimes) introduisent des représentations réalistes de bovins attelés à un araire. Elles sont perçues par certains comme une représentation socialement valorisée de certains objets et soulèvent la question de leur

accessibilité et du statut de celui qui manie ces animaux et attelages (Pétrequin et al. 2006b). Il est possible que le propriétaire des bovins puisse être un individu particulier et qu'il soit sujet à une valorisation sociale. Tout le monde n'aurait donc pas accès à un véhicule et à des bêtes de trait. En plus d'une connotation matérielle et fonctionnelle, ces innovations auraient aussi une part sociale (Pétrequin et al. 2006b).

L'approvisionnement carné au Néolithique final est principalement lié à l'élevage, **la chasse et la cueillette sont complémentaires** (Lemercier et al. 2004a). Le bœuf représente le principal apport même s'il est en nombre inférieur par rapport aux autres animaux et préservé pour les services rendus. Son rôle social et symbolique est donc primordial au sein de la société agricole de la fin du Néolithique (traction, portage, transport). Les caprinés et les suidés sont bien plus nombreux mais représentent des apports plus faibles. Les restes fauniques témoignent d'une gestion maîtrisée puisqu'étant complémentaire entre type d'animaux tout en exploitant l'ensemble des produits animaux (Blaise 2010). Il a été mis en évidence sur différents sites, l'existence de groupes spécialisés d'après la gestion des animaux dénotant de rôles spécifiques pour certains individus ainsi que d'échanges possibles des surplus entre groupes : à la Citadelle (éleveurs-producteurs), aux Calades 2 (Orgon, Bouches-du-Rhône, éleveurs-bergers/consommateurs)... Ces gestions distinctes des troupeaux entraînent des organisations sociales et des comportements habituels des individus intra et inter-groupes différents. Par ailleurs, les diversifications fonctionnelles des sites s'expriment en parallèle avec l'altérité des sites témoignant d'une relation de symbiose mais surtout de gestion des différents territoires/finages disponibles selon les saisons et les besoins (Blaise 2010). Les données archéozoologies montrent donc la diversité et la complexité de l'économie animale (*idem*). **Des comportements distincts entre groupes découlent des choix appliqués au mode de subsistance** : sites saisonniers, spécialisation autour d'un produit...

Réorganisation des réseaux d'échanges

A travers les réseaux d'échanges, plusieurs informations essentielles concernant les modes de vie peuvent être obtenues notamment concernant la mobilité des groupes et l'exploitation de leur environnement.

Durant le Néolithique final, les réseaux d'échanges vont être réorganisés et certains, établis au Néolithique moyen comme celui de l'obsidienne, vont disparaître (Lemerrier 2010). Ainsi, les grandes lames en silex zoné oligocène du bassin de Forcalquier s'exportent dans toute la région, remplaçant le silex blond bédoulien. Les grandes lames semblent véhiculer un certain prestige et elles sont exportées à plus de 500km des Alpes-de-Haute-Provence comme en Suisse dans les groupes de Horgen, de l'Auvernier-Cordier et de Lüscherz (Renault 1998, Honegger 2006). Selon certains auteurs, ces lames tenteraient d'imiter au moins symboliquement des poignards métalliques exogènes (Bailly 2002, Honegger 2006, Renault 2006). Il est constaté une récession de la diffusion des lames polies en éclogites selon les travaux de E. Thirault (2004). La hache à lame de pierre ne serait plus un bien valorisé comme à la période précédente. Concernant la parure, les perles en stéatite et autres éléments de parure sont diffusés du Languedoc au Jura (Pétrequin et al. 1987-1988).

En ce qui concerne les importations, des lames en silex du Grand-Pressigny (Indre-et-Loire) ont été découvertes notamment sur les fouilles du tracé du TGV Méditerranée (Maillet et al. 2000, Furestier 2007). Il y a aussi des objets finis en métal comme le poignard de type Remedello du dolmen des Gavots à Ogon dans les Bouches-du-Rhône (Courtin et al. 1975). Cet objet atteste des liens entre les régions rhodaniennes et l'Italie du Nord tout comme les gravures le représentant à Oullas dans les Alpes-de-Haute-Provence ou à Chastel-Arnaud (Rossi et Gattiglia 2005, Morin et Picavet 2006). Les groupes italiens avaient une bonne maîtrise de la métallurgie. Ces liens vont certainement de pair avec les courants de circulation liés à la métallurgie (Cauliez 2010) et ils ont pu aussi influencer sur la métallurgie languedociennes qui représente les débuts de cet artisanat en France (Strahm 2005). Pour la parure, un bouton en ambre provenant de la Baltique (grotte Murée, Montpezat, Alpes-de-Haute-Provence) a été importé (Du Gardin 1998). Dans le Languedoc, d'où proviennent la plupart des objets métalliques qu'on trouve jusqu'en Provence (Ambert 1996), les groupes fontbuxiens exploitent les ressources en cuivre du Massif Central méridional (Ambert et al. 2002). Ces éléments impliquent une circulation des objets sur de grandes distances et l'entretien de relations régulières entre différents groupes culturels à des distances variées. Toutefois, ces échanges ne concernent que des objets spécifiques et restent donc assez ponctuels. Les groupes semblent avoir privilégié un approvisionnement local des matières premières (Lemerrier et al. 2004a, Furestier 2007) ce qui renforce l'idée de **régionalisation**.

Néanmoins, les productions céramiques définissant ces groupes ne sont pas figées. Comme il a été vu précédemment lors de la définition des groupes provençaux, il est

soupçonné des emprunts stylistiques, imitations ou échanges entre la céramique provençale et celle languedocienne (Giligny 1997). Certains travaux montrent un assemblage languedocien à faciès épi-Ferrières dont la stylistique et la typologie rappellent celle des groupes provençaux, notamment le Couronnien (Jallot 2003). Toutefois, ces travaux ne soutiennent pas l'hypothèse d'une intervention extérieure dans la transition du Ferrière au Fontbousse dans le Languedoc contrairement à certains travaux. D'autres ressemblances sont notées avec des assemblages ardéchois comme sur le site des Bruyères à Saint-Julien-de-Peyrolas (D'Anna 1995a, Cauliez 2010). Le même fait est constaté pour la moyenne vallée du Rhône par A. Beeching (2002). Il relève des similitudes morphologiques dans la périodisation qu'il propose pour la région et des influences au sein de la céramique des groupes provençaux semblant provenir du courant rhôdano-alpin, notamment pour le groupe Nord-Vaucluse et la céramique de l'hypogée de Roaix (Vaucluse). Les conditions dans lesquelles ont pu se faire ces apports restent sujettes à discussion selon les hypothèses adoptées pour l'origine, les mutations et les interactions des groupes culturels dans ces différentes régions (Cauliez 2010). Néanmoins, ces ressemblances concernant la céramique penchent pour une extension des groupes culturels hors de leur aire géographique définie et témoignent de transferts culturels avec d'autres régions.

I.1.2.2 *Les pratiques funéraires*

Les nécropoles et des regroupements d'individus au sein de sépultures apparaissent vers la fin du Néolithique moyen et au Néolithique récent (Sauzade 2011) tels qu'en témoignent les cinq tertres à sépulture centrale individuelle du Néolithique récent sur le site de Château Blanc à Ventabren, Bouches-du-Rhône (Hasler et al. 2002).

Au milieu du IV^{ème} millénaire, le phénomène des **pratiques funéraires collectives** va s'étendre en Europe. En Provence, en dépit de la régionalisation des entités culturelles, ce trait funéraire est commun aux groupes humains.

Néanmoins, malgré son ampleur, il ne s'agit pas de l'unique mode d'inhumation pour la période. Les sépultures individuelles existent toujours. S'il est parfois mal aisé d'être certain de leur attribution à la période pour le début du Néolithique final, les sépultures individuelles existent en cavités naturelles sans être forcément attachées à un espace

domestique et en plein air proches de l'habitat (Sauzade 2011). Enfin, à côté de l'inhumation, la crémation au Néolithique final est une pratique principalement constatée en Basse-Provence, Bouches-du-Rhône et Var (Sauzade 1998).

Plusieurs versions de la sépulture collective à la fin du Néolithique sont possibles notamment (Sauzade 1983, 1998, Beyneix 2003):

1. **Les cavités naturelles** (grottes, abris, avens): il s'agit de petites cavités s'ouvrant en hauteur, difficiles d'accès, avec possibilité de colmatage facile de l'ouverture et des boyaux exigus.

Il est difficile de définir des critères de sélection standard pour la période (Chambon 2003). Selon cet auteur, la durée d'utilisation plus que la taille définit le nombre de défunts. Cependant, cette dernière limite le nombre de corps pouvant être déposés de manière proche dans le temps. Elles continuent d'être utilisées jusqu'à l'âge du Bronze (Sauzade 2011).

2. **Les architectures bâties :**

- **les hypogées au nord du Vaucluse et au sud de la Drôme** profitant d'une opportunité naturelle (creusement de la roche facilité),
- **les hypogées de Fontvieille (Bouches-du-Rhône)** excavés dans le substrat rocheux à grandes dalles de couvertures,
- **les dolmens**

Les hypogées, une dizaine environ, sont rassemblés dans la Drôme et le Vaucluse. Leur implantation s'effectue dans des collines de molasse miocène tendre, hormis celui du Bois de l'Ubac à Carpentras (Sauzade 1983, 1998). Il en résulte une érosion très importante et seuls les plans au sol sont visibles, avec parfois le retour de la voûte. Le plan général est quadrangulaire avec des parois rectilignes et un fond concave (Beyneix 2003). La surface sépulcrale est plus importante que pour tous les autres types de sépultures mais très variable entre hypogées. Enfin, il en va de même pour le nombre de défunts et ce sans rapport avec les dimensions : l'hypogée du Capitaine (Grillon, Vaucluse) qui mesure plus de 100 m² ne contient qu'un minimum de 178 sujets alors que celui des Boileau (Sarrians, Vaucluse) contient au moins 329 sujets pour 12 m² (Mahieu 1984a, Devriendt 2004a).

Les dolmens provençaux sont divisés en trois principaux ensembles régionaux selon leur architecture: les dolmens bas-alpins, à petite chambre carrée de Provence orientale et à chambre allongée de Provence occidentale (Sauzade 1998). Ce dernier se répartit dans les Alpilles, le nord du Luberon, le bassin d'Aix et l'ouest des Maures et celui à chambre carrée se situe à l'ouest du Rhône (Beyneix 2003). Ce groupe et les plus grands dolmens à chambre carrée sont attribués au Néolithique final I (Sauzade 2011). Seule l'architecture de la chambre distingue les deux derniers groupes. Inséré dans un tumulus, l'accès s'effectue à l'ouest ou au sud-ouest par un couloir centré et surélevé menant à la chambre funéraire. Les piliers d'entrée et la dalle de chevet dépassent des parois latérales. Une ressemblance est notée avec les dolmens des petits causses languedociens (Sauzade 1998).

Entre le Néolithique final I et II, les pratiques funéraires semblent se modifier. Les travaux de G. Sauzade (2011) soulignent que le Néolithique final I correspond à la phase où l'aspect monumental est le plus prononcé d'après l'apparition des hypogées, des plus grands dolmens à chambre carrée et à chambre allongée. Il en déduit qu'il s'agit de l'apogée des sépultures collectives et de la cohérence communautaire des groupes humains. D'un côté, il y aurait au Néolithique final I des dépôts funéraires disposant d'un vaste espace comme c'est le cas pour les hypogées Nord-Vaucluse sans que ne soit constatés des remaniements d'ossements. D'un autre côté à cette période, les dolmens apparaissent et ces architectures disposent de moins d'espace pour les dépôts. Il faut donc repenser le traitement des corps et G. Sauzade (2011) propose qu'il s'agisse de la matérialisation de rites fréquents en plusieurs temps et/ou qu'il s'agisse de sépultures secondaires. Il s'appuie notamment sur les déplacements d'ossements, zones de rangement et apports incomplets de corps constatés au dolmen de l'Ubac (Bizot et al. 2004). **Au Néolithique final II, le glissement vers l'inhumation individuelle** laisse supposer un recadrage sur l'individu par rapport au collectif (Chambon et Leclerc 2008). Les pratiques funéraires évoluent vers **une décollectivisation des sépultures** (Sauzade 2011). Les quelques grands dolmens à chambre carrée du Néolithique final I sont mis en relation avec une représentation idéologique des communautés ou une taille importante de ces dernières. Des architectures nouvelles sont constatées au Néolithique final II comme les tombelles (la Collette, Alpes-Maritimes), tumulus et tombes en bloc selon cet auteur. Elles représenteraient l'aboutissement d'un changement dans les pratiques funéraires entre les deux phases. Il est aussi constaté une ré-utilisation des dolmens durant le Néolithique final II interprétée comme un emploi individuel (Sauzade 2011). Selon ses travaux, il serait aussi construit durant cette seconde phase des dolmens avec une architecture semblable à ceux

du Néolithique final I comme le dolmen de l'Agriotier (Roquebrune-sur-Argens, Var), le dolmen discuté du Villard (Lauzet-Ubaye, Alpes-de-Hautes-Provence) ou du Caillassou (ou tombe 2 de Saint-Anne, Saint-Vallier, Alpes-Maritimes). Ils mélangent architecture nouvelle et persistance de traits traditionnels et proposent plusieurs types de fonctionnements. On peut citer des aménagements sans usage concret comme ceux effectués en prévision d'accès répétés pour un usage en réalité unique de la sépulture ou la multiplicité des modes d'accès.

Le choix d'une structure par rapport à une autre peut être d'ordre pratique tel que peut le laisser penser la présence majoritaire d'hypogées au Vaucluse par rapport à la facilité de creusement du sol. Néanmoins, bien que des ressources nécessaires soient disponibles, certaines zones provençales ne sont pas atteintes par l'implantation de dolmens (Sauzade 1998). Le choix relève donc aussi de la sphère culturelle.

A propos des ensembles funéraires collectifs

Les ensembles funéraires collectifs sont un lieu de rassemblement commun des défunts (Chambon 1999, Chambon 2003). Ce lieu est délimité et clos afin de préserver les défunts. Cependant, il est nécessaire de pouvoir déposer de nouveaux corps. Tout en étant fermé, l'espace est donc aussi facilement accessible et un accès est prévu depuis le début de la construction (Leclerc 1999). L'espace est pensé pour une longue temporalité : plusieurs générations peuvent se succéder, la libération d'espace pour les nouveaux arrivants doit avoir le temps de s'effectuer (Chambon 2003). Même de dimensions restreintes, les sépultures peuvent ainsi accueillir de manière successive de nombreux dépôts.

La structure sépulcrale varie comme on a pu le voir en Provence. Des choix fonctionnels mais aussi culturels (prestige, spirituel, esthétisme...) semblent être à l'origine de l'utilisation d'une structure (Beyneix 2003, Sauzade 2011). Savoir quelle considération prime peut parfois sembler facile quand les considérations pratiques semblent dominer comme dans le cas de la préférence pour les hypogées par rapport aux dolmens dans le Vaucluse ou l'utilisation de cavité naturelle plutôt que la construction d'une sépulture comme la grotte de Sanguinouse (La Roque-sur-Pernes, Vaucluse). Il existe néanmoins des dolmens et des cavités naturelles sépulcrales dans le Vaucluse et l'accès aux cavités naturelles n'est pas forcément aisé comme pour la grotte de Sanguinouse. Il est donc plus probable que le choix soit dépende

de plusieurs facteurs. La monumentalité que certaines sépultures revêtent laisserait envisager un rôle dans la définition du territoire à la fois réel et imaginaire (Beyneix 2003).

Le traitement des corps peut répondre au besoin standard de libérer l'espace pour les nouveaux arrivants selon le type de sépulture collective. Ainsi, au site de la Madeleine à Bédoin (Vaucluse) les ossements réduits se situaient dans les zones périphériques quand l'espace central était dévolu au dépôt des corps (Sauzade et Duday 1975-1976). Il n'y a pas de rituel constaté de manière interne à la sépulture par le traitement des corps. Cependant, de nombreuses variations peuvent être envisagées, propre à chaque groupe. Ce gain d'espace peut être effectué par rangement d'ossements comme dans la grotte de Sanguinouse, de parties de corps en décomposition ou en vidangeant partiellement ou complètement la sépulture avec possibilité de récupérations sélectives des ossements (reliques) qui au-delà de l'individu représente l'appartenance à une communauté. Les vidanges s'effectuaient peut-être de manière sélective mais leurs modes nous échappent. Tous ces gestes rendent difficile la lecture de la gestion interne sépulcrale. Cependant, avant même le dépôt des corps, une gestion externe peut intervenir en décharnant de manière active ou non le corps ou en l'incinérant afin de le réduire comme pour le site de Perpétairi à Mollans, Drôme.

L'organisation des dépôts peut être complètement fonctionnelle tout en répondant à d'éventuelles volontés de regroupement social des défunts qui ne nous sont plus perceptibles. La question de la mémoire individuelle et de sa temporalité, de l'attitude des vivants envers leurs morts, est complexe à saisir dans ce contexte. L'étude de P. Chambon (2008) propose que la problématique principale était de dégager de l'espace et que les rites mettent en jeu le souvenir du mort et non pas les ossements vu qu'ils peuvent être mélangés. En ce cas, l'organisation du dépôt semblerait plutôt fonctionnelle qu'autre chose.

La problématique de l'individualité dans les sépultures collectives est donc relative puisqu'il s'agit de percevoir à quel point un sujet est noyé dans la masse ou s'il est reconnu comme chaînon individuel au sein d'un ensemble social. Cela amène à la compréhension du mobilier au sein des sépultures collectives auquel nous reviendrons *infra* (cf IV.3.3.5).

Enfin, concernant la problématique des conditions d'accès à ces sépultures, P. Chambon (2003) souligne qu'au vu des dimensions restreintes des sépultures, excepté les hypogées, le rythme des décès de la population recrutée n'était pas soutenu et propose « une société divisée en noyaux ne mélangeant pas leurs défunts » (p.330). Le cas des hypogées est à part. Leur surface et le nombre d'individus sont bien plus élevés : l'hypogée du Capitaine

(Grillon, Vaucluse) s'étend sur plus de 100 m² et accueille environ 178 sujets (Sauzade 1983). La sélection est certainement différente, de même que leur fonctionnement puisque l'on y constate très peu de remaniements (Chambon 2003, Sauzade 2011).

I.1.3 Contexte environnemental et climatique de la région d'étude et sites sélectionnés

Plusieurs impératifs ont apporté une délimitation géographique à notre étude. Le territoire provençal est vaste et les phénomènes culturels de la fin du Néolithique ne touchent pas pareillement l'évolution des sociétés. Ainsi nous souhaitons éviter un espace trop artificiel et figé tout en incluant des sites dont la conservation et préservation des restes osseux permettrait une approche biomécanique. Il nous fallait donc réfléchir à un espace répondant à une réalité archéologique et qui soit géographiquement et chronologiquement homogène. Notre choix s'est donc porté sur le territoire nord -vaclusien où est situé le style des Crottes définis principalement par des sites funéraires. Ces derniers semblent fonctionner de manière contemporaine et partagent un même espace ce qui correspond à nos attentes. Trois hypogées où l'on retrouve ce faciès et un dolmen ont répondu à nos critères de sélection : **hypogées des Boileau (Sarrians), du Capitaine (Grillon), de Roaix et le dolmen de l'Ubac (Goult).**

Le Vaucluse présente un relief varié principalement constitué de plaines vallonnées, collines, plateaux et montagnes (Figure 1). Le plissement alpin a engendré une organisation est-ouest de la topographie. Le paysage est assez morcelé qui peut avoir eu un rôle dans le morcellement du territoire (Lemerrier et al. 2004a). Le mont Ventoux atteint la hauteur de 1912 m et est visible dans un rayon important. A son pied s'étend la plaine du Comtat, la plus vaste du département. Les monts de Vaucluse (culminant à 1125 m) et les Baronnie viennent border le département à l'est. Le sol calcaire a été creusé par les cours d'eau, allant jusqu'à créer des gorges naturelles telles que celles de la Nesque. Les sites pris en compte dans l'étude se trouvent tous sur les contreforts des monts de Vaucluse, à l'exception de l'Hypogée des Boileau (Figure 1).

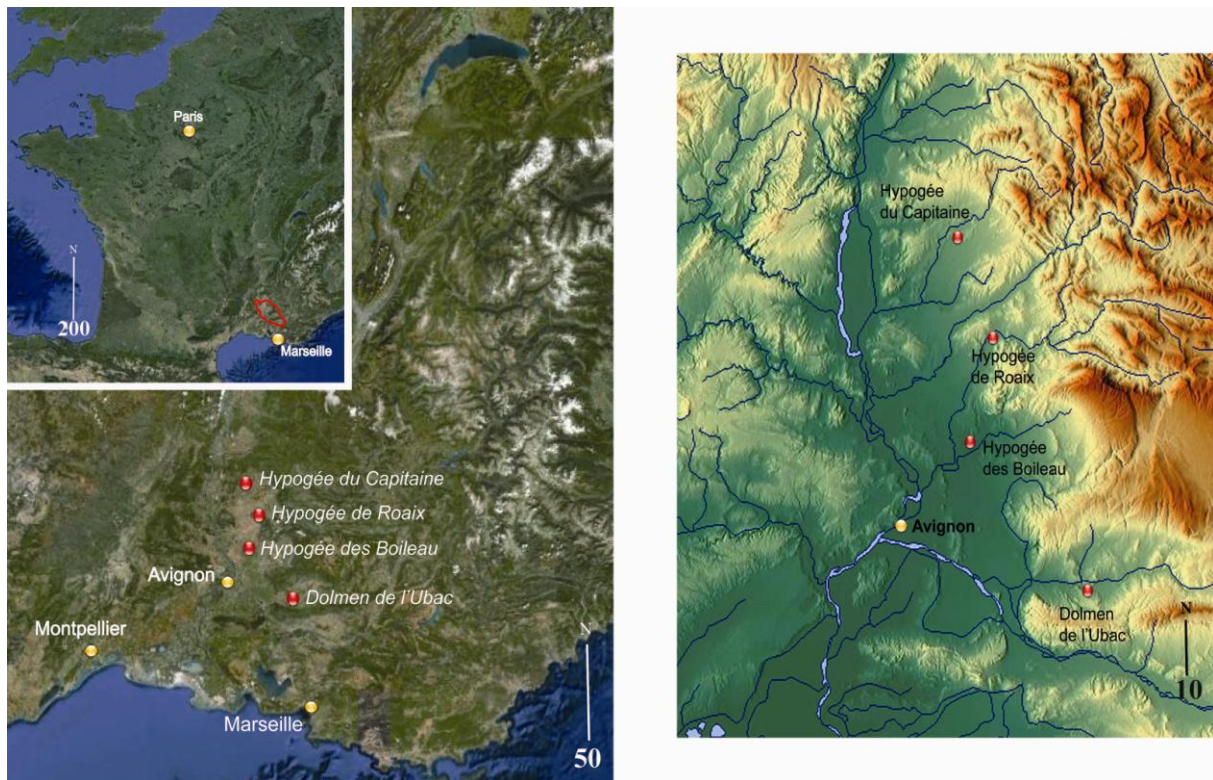


Figure 1 Cartes de localisation des sites sélectionnés et du relief environnant (à droite : Image Landsat © 2013 Google, à gauche : carte générée par H. Braxmeier, <http://www.maps-for-free.com>)

Comme expliqué précédemment, la fin du Néolithique connaît une **forte anthropisation du paysage**. Des phases d'emprises et de déprises humaines se succèdent et coexistent dans le Vaucluse et ces activités anthropiques vont affecter la végétation entre autres facteurs. Cependant, un décalage existe entre l'enregistrement des zones d'occupation possibles et la fréquentation humaine. La zone d'extension du hêtre descend jusqu'en basse Provence alors qu'il occupe normalement des niches écologiques à plus haute altitude (Andrieu-Ponel et al. 2000). Le paysage s'ouvre donc avec le développement des zones de garrigue avec l'extension des chênes verts, du buis et pin d'Alep (Thiébaud 1988, Martin 2004). Les sols sont plutôt favorables à l'agriculture (Harfouche et Poupet 2000).

Au début du Néolithique final, autour du 3600-3500 av. J.-C., c'est le début du **Subboréal**, avant-dernier étage climatique alors que la Provence est sous climat subméditerranéen (Beeching 2002, Magny et al. 2002, Magny 2004, Ollivier 2006). L'humidité augmente et la Provence subit une alternance de phases humides et sèches de manière régulière. Ce changement climatique est perçu comme une crise ayant pu engendrer d'importantes répercussions sociales et économiques telles que pour les sites palafittiques suisses (Schibler et al. 1997). Les populations du Néolithique moyen se seraient vues obligées

d'adapter leur mode de vie en fonction de l'impact climatique (Lemerrier 2010), différent selon leur environnement respectif (Magny et al. 2002, Magny 2004). O. Lemerrier (2010) perçoit ces variations climatiques comme un facteur exacerbant les modifications des sociétés néolithiques et non comme un facteur déclenchant. Il précise que cet impact reste encore à déterminer régionalement. Des analyses menées sur l'hypoplasie de l'émail dentaire des bovins et caprinés modèrent le stress climatique subi par les troupeaux à cette période en Provence notamment comme à la Fare (Forcalquier, Alpes-de-Haute-Provence) ou à la Brémonde à Buoux dans le Vaucluse (Balasse et Tresset 2007, Blaise 2010). Les sociétés faisaient donc preuve d'une maîtrise suffisante des troupeaux (soin, parcage, nourriture) nécessitant une exploitation plus soutenue du milieu afin de combler les besoins qu'il s'agisse de mise en culture ou d'essartage (Thiébaud 2005). Il semble donc bien y avoir eu un impact économique régional de ces variations climatiques.

I.2 L'influence des sollicitations fonctionnelles en contexte biologique

I.2.1 Développement du tissu osseux et sollicitations fonctionnelles

Ce chapitre nous permet d'introduire les notions théoriques définissant le tissu osseux de manière à pouvoir appréhender les facteurs et les phénomènes ayant un impact sur les variations de dimensions et de conformation de l'os. Ces facteurs et phénomènes sont définis ensuite afin de faire la part entre ceux d'origines biomécanique-environnementaux et génétiques-développementaux.

Le tissu osseux constitue l'ensemble de cellules et matrices extracellulaires composées essentiellement de collagène de type 1 minéralisé. Le squelette répond à trois grandes fonctions :

1. **Mécanique** : les os forment une structure rigide supportant notre corps et ancrant les organes vitaux. De plus, le squelette protège ces derniers. Enfin, afin de déplacer les membres, les muscles agissent comme des leviers sur les os. Cet ensemble et les articulations déterminent les mouvements possibles.
2. **Métabolique** : les os servent en tant que réservoir de facteurs de croissances et de minéraux dont le calcium et le phosphore. Le débit et crédit des minéraux est continu. De plus, les triglycérides (lipides) sont aussi stockés dans les os.

3. **Hématopoïétique** : la formation des cellules sanguines (globules rouges, blancs, plaquettes) s'effectue dans la cavité médullaire osseuse.

L'os compact compose 80% du tissu osseux total (Marieb 2005). Cette structure est recouverte du périoste, membrane jouant un rôle important dans la croissance des os en longueur et en circonférence. A l'intérieur de l'os compact se situent l'os trabéculaire. Sa structure en forme de nids d'abeilles est constituée de travées (pièces pointues et plates) et il représente 15 à 20% du tissu osseux total. Il a une fonction hématopoïétique et mécanique. Il s'agit aussi d'un os lamellaire.

Les constituants organiques de l'os (ostéoprogénitrices, ostéocytes, ostéoblastes, ostéoclastes) et le matériau ostéoïde représentent environ 45% de la matrice osseuse (Marieb 2005). C'est de ce dernier dont dépendent la structure, la flexibilité et la résistance aux forces de pression, tension et torsion de l'os. Il est composé principalement de fibres notamment collagènes, de globulines liées à la minéralisation (ostéonectine, ostéocalcine, ostéopontine...) et d'une substance fondamentale composée de protéoglycanes et glycoprotéines.

Les constituants inorganiques représentent le reste de la matrice osseuse. Ils sont constitués d'hydroxyapatite¹ et de cristaux de phosphate de calcium ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH}_2)$), présents autour des fibres de la matrice extracellulaire² ainsi que du sodium, du potassium et du magnésium.

Formation, modelage et remodelage du tissu osseux

Durant la croissance, l'os subit des modifications de morphologie selon les mécanismes de résorption et de formation du tissu osseux qui lui permettent de se développer et de croître en longueur et en diamètre (Carter et Beaupré 2001). Pendant la maturation, ce processus est désigné sous le terme de modelage. Cependant, ces processus ne s'interrompent pas à l'âge adulte puisqu'entre 5 et 7% de la masse osseuse est renouvelée chaque semaine (Marieb 2005). Prenant place à la surface du périoste et de l'endoste, **le remodelage désigne** le renouvellement du tissu osseux tout au long de la vie (Marieb 2005). Des unités de remaniement ou fonctionnelle (ostéons) composées d'ostéoblastes et ostéoclastes adjacents vont travailler à ce phénomène dans l'os compact et trabéculaire.

¹ Minéral phosphate, principale composante de l'os, l'émail dentaire et la dentine

² Substance fondamentale et fibres du tissu conjonctif et des autres tissus

Les ostéoclastes réagissent en formant des lacunes osseuses de résorption. Celles-ci sont par la suite comblées par une nouvelle matrice osseuse grâce aux ostéoblastes. En s'enfermant dans du tissu osseux, ces cellules vont alors devenir des ostéocytes. Les dimensions totales de l'os s'accroissent ainsi que sa résistance tant que le dépôt osseux est plus important que la résorption de l'os endocortical.

Ces mécanismes ont lieu afin que l'os conserve sa morphologie tout en étant adapté aux contraintes biomécaniques subies. La section diaphysaire va donc se modifier de manière à **résister aux contraintes subies (axiale, torsion et flexion)** en changeant la **conformation** et **l'organisation macro et micro-architecturale** du tissu cortical (Ruff et Hayes 1983, Ruff 2008).

Cependant, **le remodelage n'est pas uniforme sur toutes les parties du squelette et d'un même os** car il entraîne des modifications propres à chaque composante du tissu osseux (Ruff et al. 1991, Ruff et Runestad 1992, Lieberman et al. 2001). C. Shaw et J. Stock (2009a) ont mené une étude sur l'humérus et l'ulna d'athlètes modernes (nageurs et joueurs de cricket) afin d'appréhender la relation entre pratique régulière d'activités et adaptations fonctionnelles osseuses. Les deux phénomènes sont liés mais les os ne réagissent pas de la même manière ; la réponse aux charges mécaniques la plus prononcée se situe au niveau de l'humérus. Un auteur propose aussi que la corrélation entre la robustesse osseuse et sollicitations fonctionnelles soient plus élevée au niveau du tibia que du fémur (Stock 2006).

Les différentes parties d'un os réagiront de manière distincte aux contraintes mécaniques. Illustrant ce fait, une étude a été réalisée pour comprendre l'action de la charge mécanique qu'est la masse corporelle sur les dimensions de l'épiphyse fémorale proximale (Ruff et al. 1991). Les dimensions de la tête fémorale ne sont pas modifiées par les contraintes mécaniques comme peuvent l'être celles de la diaphyse. E. Trinkaus et collaborateurs (1994) souligne aussi ce fait. Il est possible dans certains cas qu'il existe une asymétrie significative des surfaces articulaires due à des contraintes (Plochocki 2004).

Lors de l'interprétation de la structure osseuse à cause des sollicitations fonctionnelles, le facteur **âge** doit être pris en compte. Un individu arrivé à maturation squelettique va disposer pour le restant de sa vie d'un capital osseux dit pic de maturation osseuse acquis durant la croissance (Bonjour et al. 1995). Le remodelage s'effectue donc sur une base osseuse préétablie. Ce pic de masse osseuse a été déterminé par bien des facteurs dont l'influence est synergique: la composante génétique, le statut hormonal, la nutrition mais aussi

l'activité physique. Pendant la maturation, l'âge auquel une activité commence à être pratiquée va déterminer la réaction physiologique de l'os à la charge mécanique (Ruff 1983). L'initiation à une occupation peut s'effectuer dès l'enfance comme c'est le cas dans les sociétés traditionnelles (Murdock et Provost 1973, Pearson et Lieberman 2004). Selon les travaux de J. Bertram et S. Swartz (1991), la réactivité osseuse des adultes est moindre que celle des immatures et des jeunes adultes. Ainsi avant le milieu de l'adolescence, les dimensions de la surface périostée seront plus réactives aux contraintes tandis qu'à la fin de l'adolescence ce sera au tour des aires endostéales (Ruff et al. 1984). Chez les adultes, la perte osseuse commencerait dès la troisième décennie avec pour conséquence la réduction de la surface corticale et des propriétés de résistance de l'os (Gosman et al. 2011). Cette perte osseuse se produit différemment selon le sexe. Chez les individus masculins, cela se traduit par un amincissement de l'os trabéculaire alors que chez les femmes il y a disparition de l'os trabéculaire, perforation et perte de connexion des travées (Khosla et al. 2006, Riggs et al. 2008).

Selon le sexe de l'individu, **les statuts hormonaux** vont influencer sur les réactions du tissu osseux. Ces différences des statuts hormonaux est surtout à mettre en relation chez l'adulte avec le phénomène de ménopause chez la femme. La déficience d'œstrogène va entraîner une augmentation du rythme de remodelage chez les femmes (Seeman et Delmas 2006). Cela va réduire les propriétés de résistance du tissu osseux par rapport à celui des hommes. D'autres hormones telles que la parathormone (PTH) ou la leptine pourraient également être responsable mais cela reste sujet à discussion (Marieb 2005). La PTH serait libérée après une baisse de concentration d'ions calciums dans le sang pour stimuler la résorption osseuse en se fixant sur les ostéoblastes. Du calcium est ainsi relâché dans le sang.

Les facteurs épigénétiques définissent une part de la transmission des dimensions et conformation de l'os. Des sujets immatures de moins d'un an n'ayant jamais marché, et issus de différentes populations Holocène (Europe, Afrique, Amériques), affichent des variations significatives au niveau des dimensions diaphysaires (Cowgill 2010). La composante génétique de la transmission des dimensions de l'os est avérée par le fait que les principales caractéristiques les définissant apparaissent tôt dans l'ontogénie (Gosman et al. 2011). Des modifications du modelage ont lieu dès le développement intra utérin car certains facteurs environnementaux se répercutent sur la future structure du squelette. On peut ainsi citer une sous-nutrition maternelle ou une activité maternelle trop importante qui, en interagissant avec le génome, diminuent la densité osseuse (Godfrey et al. 2001, Tobias et al. 2005). Il faut donc

porter une attention particulière à l'origine de la ou des populations comparées car des différences structurelles apparaissent durant la croissance selon les facteurs épigénétiques (Gosman et al. 2011).

Enfin, des études ont démontré que des souris d'une semaine issues de lignées pratiquant des activités intenses présentent des dimensions diaphysaires bien plus importantes que les lignées « contrôle » (Wallace et al. 2010). Bien que des études soient nécessaires pour valider l'application du modèle animal à l'homme, il semblerait exister un signal évolutionnaire propre aux populations, renseignant sur leurs activités. Les dimensions diaphysaires exprimeraient à la fois les modes d'exécution des activités d'un individu à moment t dans la chronologie de sa population et ceux des générations ayant précédé cet individu.

Malgré l'influence de **facteurs développementaux et génétiques**, les **facteurs mécaniques et environnementaux** ont une part réelle d'influence sur le remodelage osseux (Pearson et Lieberman 2004, Ruff et al. 2006a). Il faut donc voir la morphologie de l'os comme le **résultat de l'influence des adaptations fonctionnelles et du contrôle génétique** (Lovejoy et al. 2003, Ruff 2008).

1.2.2 Des activités et des squelettes

1.2.2.1 *Glossaire de l'activité*

De nos jours, le terme de travail définit les occupations majoritairement pratiquées par un individu (Rolle 1988). La nécessité sociale de produire n'est plus rattachée à la spécification du sujet, celui-ci peut à tout moment changer de qualification. Le statut que l'emploi procure est alors modifiable et provisoire mais toute occupation ou travail apporte un certain statut social à l'individu. Les conditions matérielles d'existence entraînent la nécessité de produire, distribuer, échanger et consommer pour toutes les sociétés humaines. Ces faits définissent l'économie d'un groupe en y ajoutant une dimension sociale. L'établissement de rapports uniquement économiques et distincts des autres rapports sociaux est propre au capitalisme selon M. Godelier (1991). Les procès de travaux³ sont accessibles aux individus

³ chaîne d'actions individuelles ou collectives extrayant des ressources à la nature et les transformant afin de produire des biens sociaux

selon leur sexe, leur âge ou encore leur groupe social d'appartenance (castes, classes, lignages) dans les sociétés pré capitalistes (Godelier 1973).

Afin de ne pas prendre de parti pris concernant le statut social du sujet et la structure économique de la société néolithique, nous utilisons le terme d'**occupation**. Ce dernier est plus général que celui de travail pour désigner **le labeur nécessaire aux conditions matérielles d'existence du groupe et de chaque sujet. Le terme d'activité est compris comme l'agir de ce labeur, la manifestation physique quotidienne requise par l'occupation. Le mode d'exécution définit la manière d'effectuer une activité, les gestes nécessaires à sa réalisation.** Une même activité peut s'effectuer de manière différente comme la mouture par exemple. Le mouvement impliqué sera différent selon la typologie de la meule. Les occupations induisent des modèles d'activités ou comportements que nous cherchons à appréhender. Nous entendons par **activité spécialisée l'acquisition de connaissances propres à un domaine pour se focaliser à sa réalisation.** H. Piéron (1901 cité par Bloch et al. 1994) comprend le terme de **comportement** comme les manières d'être et d'agir des individus, manifestations objectives de leur activité globale. Notre approche est proche de l'éthologie (Bloch et al. 1994). Nous cherchons par l'étude de réactions biologiques à caractériser les interactions homme-milieu.

La nature de l'effort peut se définir selon plusieurs points (Murdock et Provost 1973, Panter-Brick 2002) :

- **La répétitivité** : caractère répété de l'action
 - La temporalité : durée de l'action
 - La fréquence : la périodicité de l'action
- **L'intensité** : caractère soutenu de l'action
 - L'énergie nécessaire / la force : charge musculo-squelettique
- **La direction des contraintes/du mouvement**
- **L'amplitude** : différence entre l'extension minimale et maximale du mouvement
- **La mobilité** : degré de déplacement nécessité par l'activité
- **La représentation sociale de l'activité**

Enfin, le terme de **mobilité** est ici entendu au sens large du déplacement des individus, bien qu'une distinction doit être faite entre mobilité résidentielle et logistique (Binford 1980).

La première désigne les déplacements induits par le changement de lieu de résidence durant le Paléolithique. La seconde désigne le déplacement et le retour d'un groupe spécialisé au lieu de résidence à la même période. Chacune varie donc selon l'occupation ou les activités d'un sujet. Nous reprendrons ponctuellement le terme de mobilité logistique pour les populations de la fin du Néolithique bien qu'elles soient sédentaires.

I.2.2.2 *Les indicateurs de l'activité*

Examiner un squelette pour remonter aux sollicitations mécaniques qu'il aurait subi et identifier des activités n'est pas récent (Kennedy 1989). L'os, de par sa plasticité, est censé enregistrer les contraintes externes et internes subies au long de la vie du sujet. Cet enregistrement provoqué par l'hypersollicitation se traduit sous la forme de marqueurs désignés sous le terme de **Marqueurs Ostéoarticulaires d'Activités** permettant l'identification d'une activité selon certains auteurs (MOA, Dutour 1992, 2000). Au-delà du témoignage biologique, il s'agit de remonter aux habitudes socio-culturelles de l'individu, à son mode vie grâce à l'identification des activités pratiquées. Les problématiques portent généralement sur la division sexuelle des tâches, les stratégies de subsistance, la pratique d'activités spécialisées... En 1989, K. Kennedy publie une liste des « Skeletal Markers of Occupational Stress ». Plusieurs types de marqueurs sont proposés ainsi que les activités potentielles les ayant engendrés. Ce travail sera complété 10 ans plus tard par une synthèse complète (Capasso et al. 1999).

Cependant, les marqueurs répertoriés ne sont pas tous de même nature et peuvent être distingués notamment selon deux types d'approches : paléopathologique et morphologique. Au sein de cette distinction, l'approche paléopathologique peut être subdivisée selon les contraintes subies et leur impact sur le squelette (Dutour 2000). Elle comprend :

- les modifications liées à des traumatismes importants (fractures, arrachements des ligaments/tendons, luxations...), preuve ponctuelle mais surtout accidentelle d'une occupation (Molleson 1989, Knüsel et al. 1997, Crubézy et al. 2002). La notion clef est le côté accidentel de la lésion ; l'activité pratiquée peut-être ou non régulière, ce qui n'en fait pas un indicateur fiable pour notre type d'étude.

- les microtraumatismes sous entendant une répétitivité importante d'une sollicitation (Larsen 1997, Dutour 2000) : fractures de fatigue, lésions enthésopathiques et

arthrose. Cette dernière est une maladie dégénérative non inflammatoire des articulations d'origine multifactorielle. Elle est potentiellement due à des facteurs biomécaniques selon sa localisation sur le squelette (arthrose de type secondaire). Les fractures de fatigue sont un peu trop anecdotiques. Ces deux phénomènes ne sont pas des indicateurs fiables de l'activité.

Cependant, une catégorie de lésions se distingue parmi ces microtraumatismes : **l'aspect osseux des enthèses** (Dutour 1986, Hawkey et Merbs 1995, Kennedy 1998, Peterson 1998, Robb 1998, Steen et Lane 1998, Wilczak 1998, Weiss 2003a, al-Oumaoui et al. 2004, Mariotti et al. 2004, Molnar 2006, Weiss 2007, Villotte 2008a, Villotte et al. 2010). Cette approche se penche sur l'aspect de la zone d'insertion sur l'os d'un tendon ou d'un ligament (Claudepierre et Voisin 2005). De nombreuses études ont utilisé ces indicateurs sur des populations passées sans considérer leur étiologie et/ou leur mode d'expression précis sous l'influence de contraintes mécaniques vérifiées jusqu'à récemment. Il n'existait pas de validation par études cliniques jusqu'aux travaux de S. Villotte (2008a) qui tient compte des données médicales des enthèses et se basent sur une population de référence dont les activités sont connues (collection SIMON, Genève). Cette recherche a montré que toutes les enthèses n'étaient pas liées directement à l'activité, leur étiologie étant multifactorielle.

Oscillant entre l'approche paléopathologique et morphologique, il existe des manifestations osseuses conséquences de facteurs biomécaniques comme les extensions ou créations des surfaces articulaires, fosses, fusion incomplète d'épiphyse (Kostick 1963, Pálfi 1992, Boule et Kurzenne 1999, Boule 2001). Nous avons choisi de les désigner par l'expression **Caractères Morphologiques Ostéarticulaires (CMO)**. Certains d'entre eux tel que l'acromion bipartite sont considérés par certains comme un caractère discret (Voisin 2012) alors que d'autres les intègrent aux MOA (Capasso et al. 1999). Il faut donc d'être prudent lors de leur sélection en tant qu'indicateurs de l'activité.

Enfin, l'approche morphologique se base, elle, sur les adaptations osseuses structurales. La diaphyse subie une réaction dynamique principalement de type modelage/remodelage des différentes composantes en fonction de la direction, de l'amplitude et de la fréquence d'une contrainte mécanique (Martin 1998, Lanyon 1992). Cependant, il s'agit d'un modèle simplifié (Martin 2000, Ruff et al. 2006a). En effet, les facteurs biomécaniques et environnementaux ne sont pas les seuls à influencer le remodelage osseux, les facteurs génétiques et développementaux devant être pris en considération (Gosman et al. 2011). Plusieurs outils sont disponibles pour restituer les données biomécaniques comme les

propriétés géométriques des sections transverses ou géométrie de section. Elle estime la capacité de l'os à résister aux forces biomécaniques en mesurant les propriétés géométriques de la diaphyse sur les sections transverses (Ruff 2008). En complément, nous avons également mené **une étude biométrique classique** qui consiste à traiter les dimensions externes des os pour caractériser la morphologie osseuse. Les mesures permettent de calculer des indices anatomiques traduisant le format et la conformation de l'os de manière mathématique pour classer les individus. Tout comme les propriétés géométriques de section, les indices sont employés afin de discuter de la robustesse, gracilité et même mobilité et reconstituer les comportements passés des populations (Broca 1868, Manouvrier 1888, Olivier 1960).

I.2.2.3 *Discussion autour de la relation entre indicateur et activité*

L'étiologie des indicateurs de l'activité est multifactorielle, ne reposant pas uniquement sur les facteurs biomécaniques et environnementaux. Les manifestations osseuses ne sont pas uniquement liées aux contraintes mécaniques (Crubézy 1988, Dutour 1992, Gosman et al. 2011). Ainsi, certaines manifestations osseuses sont considérées comme des « **faux positifs** », c'est-à-dire attribuées à des activités, sans qu'en réalité il n'existe un lien direct comme concernant le développement de l'enthèse deltoïde (Dutour 1992, Villotte 2008a). En ce qui concerne les lésions enthésopathiques et les caractères morphologiques ostéarticulaires, les auteurs ne sélectionnent pas toujours les mêmes manifestations osseuses selon qu'ils considèrent ou non leur étiologie. En effet, malgré les travaux de S. Villotte (2008a) certaines enthèses sont toujours mises en lien avec les activités par exemple dans l'étude de S. Niinimäki (2012). Il est donc nécessaire de prendre en compte l'étiologie des indicateurs et leurs facteurs d'influence.

Selon certains auteurs, il est possible d'identifier une activité précise à partir des indicateurs (Dutour 1992, 2000). Si l'on tient vraiment à montrer la pratique d'une activité précise, les marqueurs doivent :

- avoir été identifiés et corrélés à l'activité à partir de références médicales actuelles
- être très spécifique, que l'activité soit donc assez précise
- évoquer une activité en corrélation avec les données archéologiques

Ces nécessités impliquent le **principe d'actualisme cinétique** entre les activités pratiquées dans le monde moderne et par les populations passées. Cela suppose qu'elles sont effectuées avec des mouvements semblables. Cela n'est possible qu'en contexte archéologique précis pour lequel le mobilier habituel est référencé et non complexe. De plus, **la sensibilité d'un marqueur** est changeante d'un individu à l'autre. Ainsi, chez deux individus pratiquant la même activité, le marqueur résultant pourra ne pas posséder les mêmes caractéristiques (dimensions, aspect, conformation). Une activité n'est pas réellement liée à des marqueurs uniques et spécifiques. Un seul marqueur ne peut être considéré avec certitude comme représentatif d'une activité, il s'agit donc d'étudier un ensemble de marqueurs pour être sûr de la spécificité de ces derniers. En outre, **une même activité peut être exécutée de manière distincte** au sein même d'un groupe. Enfin, ce qui est observé n'est pas le résultat d'une seule activité mais de toutes celles pratiquées au cours de la vie (Kennedy 2000).

Dans le cadre de notre étude, nous ne restituons pas les activités précises mais utilisons plutôt les différents indicateurs afin de **reconstruire les modes d'exécution** de ces dernières afin de déceler des spécificités ou des homogénéités au sein d'un groupe et entre nos groupes.

I.2.2.4 *L'asymétrie*

Une latéralisation des organes et des fonctions du corps humain existe parfois. Cette dernière s'étend au domaine comportemental puisqu'un individu peut choisir d'utiliser préférentiellement un antimère plutôt qu'un autre. Néanmoins, deux cas de figures coexistent :

- la préférence d'utilisation d'un côté
- la nécessité fonctionnelle d'utiliser un côté sans que celui-ci ne soit le dominant.

Le phénomène de dominance est dynamique et évolue pendant la croissance de l'enfant. Les facteurs environnementaux ne sont pas les seuls à l'influencer, puisque la dominance est en partie innée (McManus 2002). Néanmoins, l'asymétrie comportementale va engendrer des asymétries de la structure osseuse pouvant se combiner entre elles. Ces

dernières se traduisent toujours par une différence entre les antérieures mais dont la cause est distincte.

L'asymétrie fluctuante désigne le développement aléatoire plus rapide d'un côté que l'autre (Plochocki 2004). Des facteurs génétiques et développementaux sont en grande partie à l'origine de cette asymétrie. Les différences sont cependant assez faibles, moins de 1% d'asymétrie bilatérale, ce qui la rend potentiellement identifiable (Van Valen 1962).

L'asymétrie directionnelle décrit le développement d'un côté de manière préférentielle. Intervenant durant la croissance, la cause est principalement mécanique. En effet, elle est engendrée par des contraintes mécaniques différentielles (Plochocki 2004, Auerbach et Ruff 2006). L'asymétrie du membre supérieur est plus importante que celle du membre inférieur (Mays et al. 1999, Plochocki 2002, Plochocki 2004). Au niveau du membre supérieur, le côté dominant présentera des diamètres plus importants. L'asymétrie est inversée pour le membre inférieur, favorisant le côté dominé. Par ailleurs, le tissu osseux ne réagit pas de la même manière, puisque l'asymétrie de la longueur osseuse et des articulations est bien moins importante que celles des diamètres diaphysaires (Auerbach et Ruff 2006).

Notre recherche va donc tenter de percevoir l'asymétrie directionnelle, malgré la présence possible d'asymétrie fluctuante. Comme G. Perréard Lopréno (2007) le préconise, nous n'avons pas tenu compte des asymétries équivalentes à $\pm 1\%$ afin de potentiellement éliminer cette asymétrie.

1.2.2.5 Comparaison de l'approche paléopathologique et morphologique : relation entre le développement d'une enthèse et les propriétés géométriques de section

Les études concernant une relation potentielle entre le développement d'une enthèse et les propriétés géométriques de section sont rares et leurs conclusions ne concordent pas toujours (Stirland 1998, Bridges et al. 2000, Weiss 2003a, Niinimäki 2012). Les deux indicateurs sont utilisés afin de reconstruire les comportements des populations passées (Kennedy 1989, Stock et Pfeiffer 2001, Holt 2003, al-Oumaoui et al. 2004, Eshed et al. 2004, Stock et Shaw 2007a, b, Weiss 2007, Ruff 2008, Villotte 2008a, Shaw et Stock 2011). Il est admis que l'activité et les contraintes mécaniques qu'elle engendre ont effectivement un lien

avec le développement à la fois des propriétés géométriques et de l'aspect de certaines enthèses (cf *infra* II.2.4 et II.2.5). On pourrait donc s'attendre à ce qu'il existe une relation entre le développement des enthèses et les propriétés géométriques dépendant des contraintes biomécaniques et que les mêmes mécanismes biologiques soient sollicités. De plus, les enthèses se développent en augmentant sensiblement le diamètre de l'os, il est envisageable que les propriétés géométriques soient affectées puisque la surface totale augmente. Cependant s'ils permettent tous deux de reconstituer les comportements, ces indicateurs sont de nature différentes : paléopathologiques pour le développement des enthèses et morphologiques pour les propriétés géométriques de section.

Néanmoins, les études comparant ces indicateurs utilisent des insertions sans tenir compte de leur étiologie. Certaines comme l'insertion deltoïde sont utilisées alors que les travaux de S. Villotte (2008a) ne mettent pas en évidence de lien entre elle et l'activité. Ces études appliquent la méthode d'agrégation des stades pour calculer un score total par individu à partir d'un seul ou plusieurs ossements. Les auteurs considèrent que l'ensemble des muscles du corps fonctionnent de concert et avec un même poids. Peut-être faut-il revoir à la fois l'échelle de l'étude et le traitement statistique des données comme le conseille S. Villotte (2008a). Enfin, concernant le développement des enthèses et l'augmentation de l'aire totale, il faut tenir compte des variations structurales internes de la diaphyse avant d'établir une relation liée aux activités entre données paléopathologiques et morphologiques.

Les différentes études comparant la relation entre le développement des enthèses et les propriétés géométriques selon les activités sont les suivantes :

- A. Stirland (1998) compare ces indicateurs entre une population médiévale et l'équipage du bateau *Mary Rose* (XVI^{ème} siècle) et s'il propose que les paramètres musculaires doivent être appréhendés dans leur ensemble, ses résultats ne sont pas concluants.
- P. Bridges et collaborateurs (2000) examinent l'humérus de populations amérindiennes du centre-ouest Illinois. Ils trouvent une faible corrélation inverse entre les propriétés géométriques et l'enthésopathie du pectoral majeur du côté gauche chez les hommes.
- E. Weiss (2003a) étudie la section humérale à 35% de la longueur biomécanique sur des populations amérindiennes. Les scores totaux des squelettes montrent une corrélation avec les propriétés géométriques de section. Lorsqu'elle n'agrège pas les

scores et compare ceux des enthèses pris un à un avec les propriétés géométriques, aucune corrélation n'est mise en évidence.

- Y. Kikuchi et collaborateurs (2012) examinent la relation entre l'épaisseur de l'os cortical des enthèses sur l'humérus et les aires de sections transverses physiologiques des muscles de l'épaule (sections perpendiculaires aux fibres musculaires). Ces travaux s'intéressent à la nature de cette relation selon les différents schémas de locomotion des primates. La relation prend différentes formes selon ces derniers.

- S. Niinimäki (2012) a entrepris la comparaison entre le moment quadratique polaire J (robustesse générale de la section, cf II.2.5.3) à 35, 50, 65 et 80% et le développement de trois enthèses humérales. Les populations proviennent d'Angleterre (Moyen-Age) et de Finlande (XX^{ème} siècle). En comparant les scores totaux et ceux des enthèses pris seul à seul, le développement des enthèses et la robustesse diaphysaire semblent être liés aux mêmes facteurs mécaniques. L'auteure précise que l'âge et la composante populationnelle de l'échantillon influencent la relation entre les indicateurs.

- P. Ibáñez-Gimeno et collaborateurs (2013) étudient la relation entre les propriétés géométriques de section transversale, la conformation et le développement des enthèses au niveau du membre supérieur. La série ostéologique est constituée d'individus provenant des îles Baléares et de la Catalogne de diverses périodes et de sujets contemporains d'âge et sexe connus. Un lien est proposé entre un fort développement des enthèses et un accroissement de la rigidité diaphysaire pour les muscles autour de l'épaule tandis que la conformation à mi-diaphyse humérale est plutôt en relation avec les muscles rotateurs. Ces travaux présentent un fort développement des enthèses à mi-diaphyse humérale comme étant en relation à la conformation diaphysaire, sans en tirer la même hypothèse pour les autres zones de l'os.

Hormis les travaux de S. Niinimäki (2012) et P. Ibáñez-Gimeno et collaborateurs (2013), aucun auteur n'a étudié le développement des enthèses et les propriétés géométriques de sections tout le long de la diaphyse et à la fois sur le membre supérieur et inférieur contrairement à ce que nous proposons d'effectuer.



Chapitre II

Démarche et méthodes

Chapitre II. Démarche et méthodes

II.1 Présentation des sites et du corpus ostéoarchéologique

II.1.1 Sélection des individus des séries ostéoarchéologiques

Afin de répondre aux impératifs des méthodes employées, les individus intégrés à notre corpus doivent répondre à certains critères.

Les individus sélectionnés ont été clairement identifiés et définis comme tel. Il n'est permis aucun doute concernant l'appartenance des os à un seul et même individu même si ces derniers sont issus d'ensembles funéraires collectifs. Enfin, l'âge est un facteur influençant les variations du tissu osseux. Seuls les individus ayant atteint la maturité squelettique et ne montrant aucun signe de sénescence sont donc incorporés à notre corpus.

Trois points sont par ailleurs déterminants :

- **diagnose sexuelle primaire possible**
- **estimation de l'âge au décès possible**
- **absence de pathologies ou traumatismes déformants.**

La diagnose sexuelle primaire et l'estimation de l'âge au décès impliquent la présence d'au moins un des os coxaux selon les méthodes que nous avons choisies (cf *II.2.1*).

Notre étude s'est concentrée sur les ossements susceptibles de traduire les contraintes biomécaniques et moins sensibles à la fragmentation pour les zones d'étude : clavicule, scapula, humérus, radius, ulna, fémur, tibia, talus et calcanéum. L'évolution de la structure osseuse sous influence mécanique incite à sélectionner plusieurs ossements et sections transverses pour chaque membre. Il serait réducteur de se contenter d'un os pour représenter le membre supérieur ou inférieur. Notre approche tente de percevoir la subtilité de l'impact des contraintes mécaniques et ces dernières n'agissent pas sur un seul ossement à la fois.

L'analyse portera sur les antimères si chacun est présent et leur **Indice Conservation Anatomique** (Dutour 1989) et **de Qualité Osseuse** (Bello 2000) doivent témoigner de bonnes conservation et de préservation. Les ossements sont donc facilement identifiables et latéralisables.

Site	Femmes	Hommes	Nombre d'individus sélectionnés
Hypogée des Boileau	42	25	67
Hypogée du Capitaine	3	2	5
Hypogée de Roaix	6	5	11
Dolmen de l'Ubac	6	1	7
Total	57	33	90

Tableau II Répartition des individus sélectionnés par site et sexe pour chaque ensemble funéraire collectif

Ainsi **90 individus** ont été sélectionnés (Tableau II). La répartition entre site est assez disproportionnée. En effet, l'hypogée du Capitaine ne livre que sept individus et l'hypogée des Boileau regroupe plus de la moitié de notre corpus ostéologique. En conséquence, il semble difficile de comparer les données suivant le sexe et le côté au sein de tous les échantillons et entre échantillons. Les traitements statistiques seront donc adaptés en conséquence.

II.1.2 Hypogée des Boileau

II.1.2.1 *Contexte et chronologies du site*

L'hypogée des Boileau (Figure 2) se situe à deux kilomètres à l'est de l'Ouvèze, sur le territoire de la commune de Sarrians et à une vingtaine de kilomètres au nord-est d'Avignon. Cette grotte artificielle est creusée dans le flanc ouest d'une colline de molasse miocène. Cette dernière est une roche peu consolidée, fragile et donc facile à creuser. Son implantation, actuellement à environ 63 m N.G.F. (Nivellement Général de la France), s'est effectuée dans une **zone de plaine, faibles collines et petits plateaux** (Mahieu 1989a, b, Mahieu et al. 2004, Devriendt 2004a).

Découverte et historique des fouilles

Suites à de fortes intempéries en 1979, des éboulements mirent au jour des ossements humains le long d'une voie de passage contre la colline. Bien que les fouilles de sauvetage commencent dès 1983, des traces de fouilles clandestines sporadiques furent constatées. Jusqu'en 1994, onze campagnes de fouilles sont programmées sous la direction d'E.Mahieu.

La première campagne permit de réaliser que bien que partiellement recoupée la sépulture était encore conservée dans sa quasi-totalité (Devriendt 2004a).



Figure 2 Vue générale de la surface sépulcrale de l'hypogée des Boileau lors de la fouille (Relevé 10? Cliché E. Mahieu 1989a)

Architecture

La sépulture couvre une superficie de **12 m² sur 1,50 m de hauteur** environ, identifiable grâce à la préservation du départ de sa voûte (Devriendt 2004a). Si la paroi Est est totalement conservée, toutes les autres ont été identifiées avec certitude lors de la fouille. Cependant, une faible portion de la paroi ouest a été perturbée par le tracé d'une voie de passage. De forme ovoïde, l'espace sépulcral est divisé par une marche transversale en deux zones nord et sud, celle-ci étant plus basse. E. Mahieu et collaborateurs (2004) y voient la marque d'un creusement en deux temps. En ce qui concerne l'accès à la sépulture, deux ouvertures n'ayant probablement pas fonctionné conjointement sont soupçonnées (Mahieu 1989b, 2000). La première aurait été utilisée lors du creusement de la sépulture puis condamnée dans la paroi ouest. Suite à son blocage, les dépôts l'auraient peu à peu obstruée. La seconde, ultérieure, aurait permis un accès vertical au sud, soit à travers la voûte, et serait celle qui aurait été utilisée couramment. Elle a été identifiée grâce à la présence d'une

dépression contenant des squelettes écrasés couplée à un dénivelé des dépôts se dirigeant dans cette direction.

Il n'a pas été remarqué d'aménagements particuliers hormis une zone d'appui quasi circulaire où les squelettes étaient fragmentés témoignant de l'accès vertical, près de la zone concentrant le plus grand nombre de squelettes.

Stratigraphie et occupations du site

L'absence relative de sédiment interstitiel est entre autre perçue comme un témoignage de la fermeture hermétique de l'hypogée lors de son utilisation. Néanmoins, différents niveaux ont été constatés dans le remplissage (Mahieu 2000, Devriendt 2004a). Tout d'abord, il y a une intrusion de petits galets dans tous les niveaux, ces derniers provenant de la surface de la colline. La couche sépulcrale est apparue sous des niveaux de terre végétale et de quelques niveaux archéologiques remaniés. Par ailleurs, au sein de cette couche, des blocs de molasse et sable peuvent séparer les dépôts successifs de corps. La couche sépulcrale n'était pas perturbée : les individus très nombreux étaient en connexion anatomique et extrêmement bien conservés pour la période. Réunis en une couche homogène, ils forment un échantillon cohérent pour la période. Aucun habitat à proximité n'a été décelé.

Mobilier associé et datations relatives et absolues

L'ensemble du mobilier associé rattache le site à la période du Néolithique final et se rapproche de celui des autres hypogées du Vaucluse (Mahieu et al. 2004, Devriendt 2004a). Cependant, en considérant le nombre d'individus, le mobilier est assez restreint (Mahieu et al. 2004). L'industrie lithique livre principalement différents types de pointes de flèches, un fragment de lame et des éclats de silex. La céramique comprend des petits vases à mamelon, bols et gobelets hémisphériques à bords droits rentrants ou éversés. Des perles en stéatite et des pendeloques à coche en os sont les principaux éléments de parure retrouvés. Le style des Crottes est reconnu sur ce site (Cauliez 2011). G. Sauzade (1998) le relie au groupe Nord-Vaucluse.

La datation ^{14}C indiquent une occupation du site vers 4040 ± 22 BP, soit comprise entre **2610 et 2470 av. J.-C.** Elle a été réalisée à partir d'ossements prélevés dans la coupe

(Mahieu 2000, Devriendt 2004a). De nouvelles datations nécessaires à une compréhension plus fine de la durée d'utilisation de la sépulture sont en cours.

Gestes et pratiques funéraires

Cette sépulture n'est évidemment pas le lieu d'un apport simultané unique. L'existence de ces dépôts simultanés n'a pas été mise en évidence. La répartition des individus se fait sur l'ensemble de la surface de manière uniforme, bien qu'on puisse parfois noter par carré de fouille une concentration plus importante d'individus liée à l'accès vertical (D-E 3 et D-E 4 pour les sujets adultes). Il n'y a pas de position standard de dépôt mais il existe quelques cas particuliers (individu contraint). Il semblerait plutôt que les dépôts s'effectuent en fonction de l'architecture et du fonctionnement de la sépulture.

II.1.2.2 *Présentation de la série ostéologique*

L'état de représentation des squelettes est très bon pour la région et la période. Par ailleurs, l'état de conservation est globalement bon mais assez variable entre chaque individu. En effet, nombreux sont les ossements recouverts d'une gangue minérale et dont les extrémités sont manquantes. Ces archives biologiques sont conservées dans le dépôt de l'ostéothèque de l'UMR 7268, Faculté de Médecine Secteur Nord de Marseille. Tous les squelettes étaient lavés, conditionnés et marqués préalablement à notre étude. **Néanmoins, il n'a pas été possible d'accéder à la documentation de fouilles.** Cependant, nous disposons de clichés photographiques et du plan de la sépulture au relevé n°10 et du carré de prélèvement et du numéro de relevé dans le numéro d'enregistrement de chaque individu. L'enregistrement des premiers individus s'est effectué selon un **code couleur**. Les données dont nous disposons proviennent pour la quasi majorité de la thèse de W. Devriendt (2004a) et des articles et études ponctuelles en découlant (Mahieu 1986b, a, 1987, 1989a, b, Mahieu et Mahieu 1991, Mahieu 2000, Devriendt et al. 2001, Mahieu et al. 2004, Devriendt 2004b).

Dénombrement

Il a été dénombré un total de **329** individus dont la quasi-totalité était identifiable et accessible pour notre étude (Devriendt 2004a). Ce corpus est constitué de 206 sujets adultes et 123 immatures. Concernant le sexe ratio, seuls les individus de plus de 20 ans ont été comptés et la diagnose sexuelle est basée sur l'os coxal. Le nombre minimum de sujets masculins est de 78 sujets et de 91 pour les sujets féminins. Diverses méthodes avaient été utilisées afin de déterminer le sexe par W. Devriendt (2004a). Nos critères de sélection individuels nous ont amené à effectuer de nouvelles estimations de l'âge au décès et de diagnose sexuelle pour tous les sujets sélectionnés avec une nouvelle méthode, cf II.2.1.1 (Murail 2005).

Données biométriques

L'étude de biométrie classique effectuée par W. Devriendt (2004a) montre qu'aucun individu ne s'éloigne de la variabilité populationnelle pour le squelette crânien. Concernant le squelette post-crânien, la population est morphologiquement **homogène**. En se penchant sur la question du dimorphisme, les sujets masculins présentent pour ces données des valeurs plus élevées que celles des femmes. Ils se présentent comme étant donc plus robustes par rapport à des sujets féminins graciles.

Données paléopathologiques

Cette analyse a été menée sur 263 sujets en connexion (Devriendt 2004a). Tous les groupes nosologiques sont représentés. L'arthrose est l'atteinte la plus représentée touchant environ 31% des sujets. Quelques cas de trépanations ont été constatés ainsi que des traces de violences interpersonnelles (6 cas constatés sur des sujets masculins de 30 à 40 ans). Des marqueurs relevés sur les squelettes tels que **des lignes de Harris** témoignent de stress durant la croissance (Devriendt 2004a).

Données démographiques et recrutement

En ce qui concerne l'étude paléodémographique, rien dans le mode de dépôt des corps et le profil de mortalité populationnel ne correspond à un événement de crise et la courbe de

mortalité serait semblables de manière générale à des ensembles funéraires Néolithiques statistiquement comparables (Devriendt et al. 2001, Devriendt 2004a). Si aucun des deux sexes n'est surreprésenté, ils n'ont cependant pas le même modèle de mortalité car les femmes sont bien représentées dans toutes les catégories d'âge contrairement aux hommes comme nous allons le voir. Plusieurs « anomalies » paléodémographiques sont décelées : déficit des périnataux et des immatures en général, mortalité des 10-14 ans et des hommes de 20-29 ans marquées. Si la première anomalie est fréquente au Néolithique final, une mortalité élevée des 10-14 ans est constatée plus particulièrement à l'hypogée des Boileau. Concernant la mortalité masculine des 20-29 ans et sa baisse régulière, aucun indice archéologique ou pathologique ne laisse à penser qu'il ne s'agisse que d'un seul épisode de violence. Il est plutôt envisagé des incidents isolés mais récurrents. La forte mortalité des hommes de 20-29 ans et les traces de violence interpersonnelles sont à l'origine de l'hypothèse de l'existence d'une classe de guerriers au sein de la population.

Les résultats de cette étude paléodémographique amènent W. Devriendt (2004a) à proposer un possible **statut socio-économique faible** de cette population par rapport aux autres de la période.

II.1.3 Hypogée du Capitaine

II.1.3.1 *Contexte et chronologies du site*

L'hypogée se situe sur la commune de Grillon au lieu-dit du Capitaine à environ 20 km au Nord-Ouest de Vaison-La-Romaine et 50 km au Nord d'Avignon (Sauzade 1976, 1977, Mahieu 1984a, Sauzade 1998). Tout comme l'hypogée des Boileau, cette sépulture est creusée dans le flanc sud d'une colline en molasse miocène (Figure 3). L'altitude moyenne du village est de 176 m N.G.F. et il se situe **aux pieds des contreforts de hautes collines** (de 200 à plus de 400 m).

Découverte et historique des fouilles

Suite à la construction d'une villa et des travaux de terrassements en juin 1975, le site fut mis au jour. Les fouilles s'étalèrent sur 3 campagnes de 1975 à 1977 sous la direction de

G. Sauzade. Cependant, une partie du site avait été perturbée par l'exploitation d'une carrière de pierre et les travaux de la villa (Sauzade 1976, 1977, Mahieu 1984a).



Figure 3 Vue de l'hypogée du Capitaine et du châssis tubulaire installé lors de la fouille. On peut remarquer la proximité de la villa avec le site ayant entraînée la fouille et la paroi nord de l'hypogée à droite du cliché (cliché G. Sauzade, 1976)

Architecture

D'une superficie estimée à 150m², seuls **100m²** ont pu être réellement reconstitués et fouillés et il est considéré comme l'hypogée le plus large de France (Sauzade 1976, 1977, Mahieu 1984a, Sauzade 1998). De forme trapézoïdale, sa longueur maximale est de 16 m de la paroi Ouest rectiligne à la pointe Est formée par l'intersection des parois Nord et Sud. Cette dernière est la moins bien conservée, en effet seule une partie réduite a pu être définie à l'Est. Malheureusement, l'entrée n'a pas été préservée et est supposée s'être trouvée dans l'angle Sud ou Sud-Ouest.

Hormis la fosse de consécration de la sépulture, il ne semble pas y avoir d'aménagement funéraire particulier pour la couche sépulcrale. Cependant, la réutilisation de l'espace sépulcral en habitat a perturbé la couche funéraire.

Stratigraphie et occupations du site

Variant de 40 à 80 cm, trois couches ont pu être distinguées. La première était remaniée et constituée par des éléments lithiques de la carrière et des couches inférieures, la seconde correspond à la réutilisation de la sépulture comme habitat. La dernière (couche 2) est la couche sépulcrale. Une fosse a été creusée sous cette couche et du mobilier y a été déposé. La voûte s'est effondrée suite à l'abandon de la sépulture et recouvre la couche sépulcrale dans la partie nord-ouest. Hormis cela, il n'y a pas de sédiment interstitiel entre les individus. Aucune trace d'habitat contemporaine à la couche sépulcrale n'a été décelée à proximité.

Mobilier associé et datations relatives et absolues

L'industrie lithique livre de nombreuses lames de silex ayant servi et peu d'armatures de flèches (Mahieu 1984a). Au sein de la couche sépulcrale, la céramique funéraire offre des formes sphériques simples à boutons opposés 2 à 2 similaires à celles des autres hypogées (Néolithique final I) ainsi que des formes carénées et des décors à pastillages entre autres dans la couche d'habitat proche du « Fontbousse » (Néolithique final II) (Sauzade 2012). L'hypogée du Capitaine recèle le plus grand nombre d'éléments de parures pour les hypogées de la période. Environ 30000 pièces ont été trouvées et quelques associations ont pu être notées entre certaines pièces. Il n'est mentionné que d'un unique squelette en association directe avec des éléments de parure. Par ailleurs, la fosse centrale mentionnée plus haut sous la couche sépulcrale contient une dizaine de pics, herminettes et galets en calcaire ayant servis lors de la construction de l'hypogée. Ce dépôt est perçu comme un acte de consécration de la sépulture (Sauzade 1983). L'industrie osseuse est assez rare. Le style des Crottes est reconnu sur ce site (Cauliez 2011). G. Sauzade (1998) le relie au groupe Nord-Vaucluse.

Par ailleurs, la couche sépulcrale aurait fonctionné autour de 4330 ± 180 BP, soit **3360-2670 av. J.-C.** (Ly-3021) selon la datation ^{14}C (Sauzade 2012). De nouvelles datations sont en cours.

Gestes et pratiques funéraires

Les connexions partielles conservées et les individus complets indiquent une position en décubitus latéral avec les membres supérieur et inférieur repliés comme étant la plus courante. Cependant, un individu féminin présentant un fœtus dans la ceinture pelvienne est en décubitus dorsal près de l'entrée témoignant d'un traitement particulier peut-être dû à la mort lors de la parturition suggérée par E. Mahieu (1984a).

II.1.3.2 *Présentation de la série ostéologique*

L'état de représentation des squelettes est mauvais et l'état de conservation est moyen. Néanmoins, bon nombres des ossements sont recouverts d'une gangue minérale, leurs épiphyses manquantes et les individus ne sont pas complets, seules quelques connexions étant conservées parmi la majorité d'ossements épars. Les individus repérés sur le terrain ont été isolés lors de l'archivage. Cette série ostéologique est entreposée au dépôt archéologique régional des Milles (DRAC PACA) à Aix en Provence. Précédemment à nos travaux, toutes les pièces osseuses étaient lavées et marquées. Enfin, l'accès à la documentation de fouille a été possible. Les artefacts (ossements et mobiliers) étaient tous numérotés, identifiés et reportés sur un plan au cinquième (coordonnées bidimensionnelles et orientation disponibles). La fouille a fait l'objet d'une couverture photographique effectuée selon des décapages horizontaux correspondants aux niveaux identifiés. Suite à la publication des rapports de fouille (Sauzade 1976, Sauzade 1977) et d'une thèse (Mahieu 1984a), diverses études ont suivi (Mahieu 1984b, 1985, 1986b).

Dénombrement

Le dénombrement effectué par E. Mahieu (1984a) monte à **178** le nombre minimum d'individus, dont 40 immatures. La diagnose sexuelle qu'il effectue sur les os coxaux (mal conservés et préservés pour la plupart) lui fait distinguer 9 femmes, 8 hommes et un individu indéterminé. Celle effectuée sur le crâne répertorie 10 femmes, 16 hommes et 10 indéterminés. Nous avons donc réalisé une nouvelle estimation de l'âge au décès et une diagnose sexuelle sur les individus sélectionnés.

Données biométriques

Une précédente étude de biométrie classique a été menée par E. Mahieu (1984a). Par rapport aux populations de comparaison choisies, les os longs du membre supérieur semblent peu robustes selon l'auteur, excepté l'humérus tandis que ceux du membre inférieur sont moyennement robustes. Peu d'individus ont été identifiés, le dimorphisme sexuel métrique n'a donc pas été analysé.

Données paléopathologiques

Tous les groupes nosologiques ont été relevés, hormis des lésions néoplasiques, et les atteintes pathologiques semblent nombreuses. Aucun cas de trépanation n'a pu être clairement constaté bien qu'un cas soit problématique. Par ailleurs, deux cas de violence interpersonnelle ayant entraîné la mort (absence de cicatrisation) ont été identifiés.

Données démographiques et recrutement

L'étude de l'âge au décès des enfants effectuée par E. Mahieu (1984a) relate les caractéristiques habituelles des populations préhistoriques : déficit des périnataux, forte mortalité infantile, faible mortalité des 10-14 ans. Une analyse ultérieure montre que les végétaux avaient une place importante dans l'alimentation d'après les stries dentaires (Mahieu et Marchesi 1986). Le matériel osseux ne permet pas d'effectuer une analyse sur le recrutement des sujets adultes.

II.1.4 Hypogée de Roaix

II.1.4.1 Contexte et chronologie du site

Situé à 1,5 km au Nord de la commune de Roaix et environ 37 km au Nord-Est d'Avignon, au lieu-dit des Crottes, l'hypogée est creusé dans le flanc sud d'une colline en molasse miocène. Situé dans **une zone plus vallonnée** que celle de l'hypogée des Boileau mais toujours de plaines, il est localisé à 213 m d'altitude N.G.F.

Découverte et historique des fouilles

Sous la direction de J. Courtin, des fouilles de sauvetage eurent lieu entre 1965 et 1966 afin de préserver le site déjà abîmé par de nombreuses fouilles clandestines et par l'érosion (Courtin 1966). Cependant, plus de la moitié de la zone avait déjà disparu, dont toutes les parois et une partie des zones Sud et Sud-Ouest.

Architecture

De forme triangulaire, les **11 m² fouillés** (9 m de large pour 6 m de profondeur) ont permis de définir les limites Nord et le début du retour des parois Ouest et Est. Désormais triangulaire, la forme de départ devait plutôt être quadrangulaire avec une hauteur estimée à **3 m**, sans couloir ou antichambre si l'on se fie aux autres hypogées de la période (Courtin 1966, Courtin 1974).

On trouve à l'Est de la sépulture et à la base de la couche 2, un sol aménagé en galets calcaires au-dessus duquel sont installés les défunts (Courtin 1966). Son aménagement semble avoir été laissé en suspens mais peut-être en manque t'il une partie au sud.

Stratigraphie et occupations du site

Le comblement est constitué de 5 niveaux d'environ 2 m de hauteur (Figure 4, Courtin 1966):

1. Couche 1 : niveau stérile (15 cm d'épaisseur)
2. **Couche 2 (C2)** : dernière phase de dépôts sépulcraux subdivisée en 3 niveaux (A, B et C, 90 cm d'épaisseur et 11 m²). Au-dessus de cette couche se trouvent des blocs dus à l'effondrement de la voûte et ayant favorisé la fragmentation des ossements
3. Couche 3 : niveau contenant de l'industrie lithique et traces de foyer recoupant couche antérieure (64 cm d'épaisseur)
4. Couche 4 : phase de hiatus (20 cm d'épaisseur)
5. Couche 5 (C5) : première phase des dépôts sépulcraux (40 cm d'épaisseur et environ 20 m²).

Aucun habitat à proximité et contemporain de cette dernière n'a été décelé.

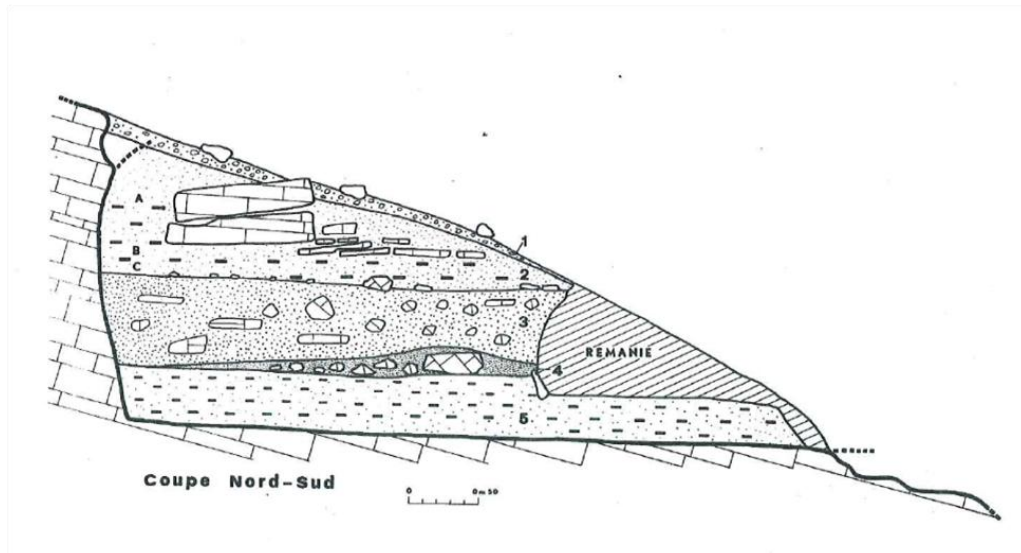


Figure 4 Coupe stratigraphique Nord-Sud de l'hypogée de Roaix. Nos travaux se focalisent sur la couche 2. La description des couches est donnée dans le texte (Courtin 1966).

Mobilier associé et datations relatives et absolues

Exception faite de la céramique, le mobilier est plutôt rare au sein de la couche 2 (Courtin 1966). L'industrie lithique livre hache polie, armatures de flèches foliacées symétriques et allongées associées au Néolithique final II (Sauzade 2012). La céramique témoigne soit des formes sphériques, simples avec un bouton sur la panse et parfois de boutons percés reliés par des cordons en relief, soit des formes carénées avec les mêmes options. Cette industrie est perçue sous influence du « Fontbouisse » (Courtin 1966, 1974). La parure comprend des disques en test et une perle discoïde en cuivre.

La couche 5 de Roaix a livré un matériel bien plus important. L'industrie lithique est constituée par de nombreux éclats, armatures de flèches foliacées, lames, lamelles et surtout un poignard lustré. La céramique est composée de formes sphériques simples portant des boutons opposés deux à deux liées à la céramique « chasséenne » et de « Fraischamp » (Néolithique final I, Sauzade 2012). Plus de 2400 pièces constituent la parure de formes et matières diverses (cristal de roche, callais, turquoise, calcaire, stéatite, cuivre). Des fragments de poinçons en os ont été retrouvés. Le style des Crottes est reconnu sur ce site (Cauliez 2011). G. Sauzade (1998) le relie au groupe Nord-Vaucluse.

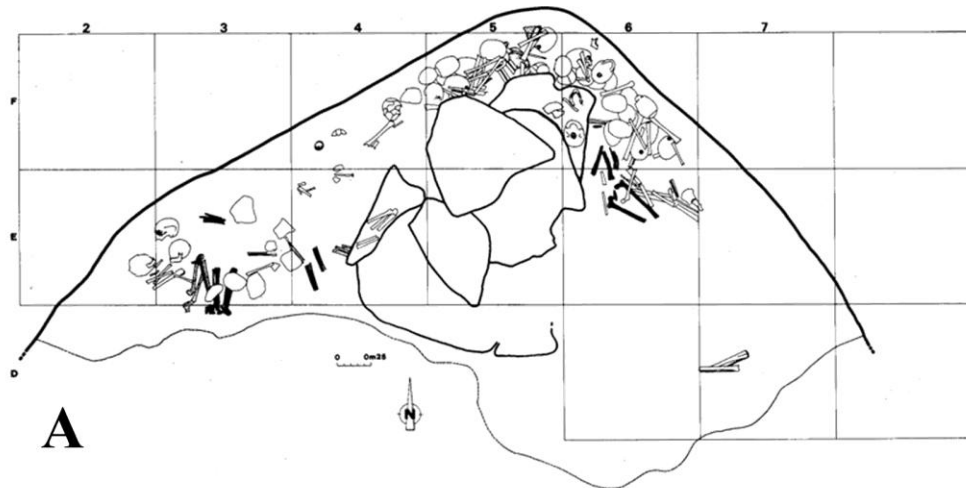
Les datations ^{14}C livrent pour la couche 2 une utilisation vers 4010 ± 40 BP à la base, soit **3000-2100 av. J.-C.** (Ly 5889). Nous sommes en attente de nouvelles datations.

Gestes et pratiques funéraires

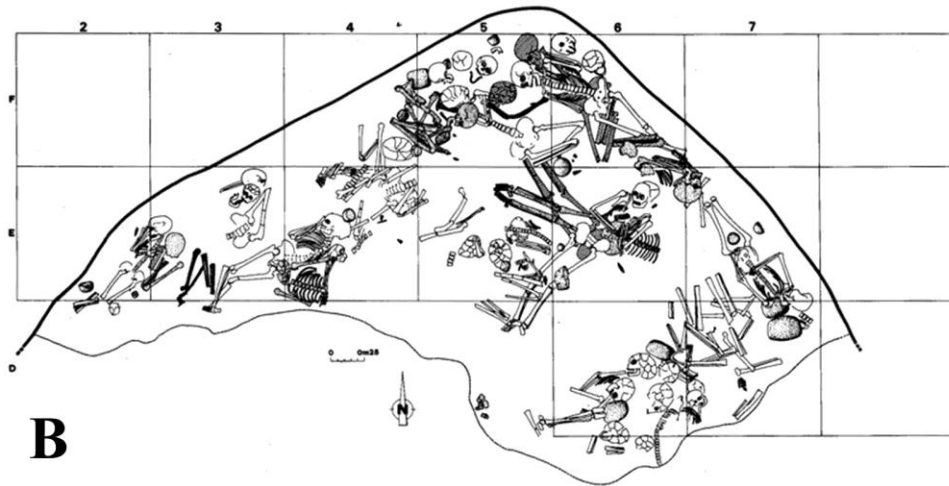
La couche 2 nous intéresse particulièrement. Parmi tous les sujets, un nombre important d'individus sont déposés en **amoncellement** et en **décubitus dorsal, sans sédiment interstitiel** et portant parfois des **marques de violences interpersonnelles** (Courtin 1966). De plus, le point intéressant est que de nombreux ossements de cette couche portent des traces de **rubéfaction** : changement de coloration, déformation, fendillement, fragmentation (Courtin 1966, Sauzade 1983). Ces foyers de « crémations » détectés dans la sépulture sont considérés comme étant à l'origine de l'effondrement de la voûte. L'analyse des restes osseux (Bouville 1980a) donnèrent dans un premier temps des données paléodémographiques « aberrantes », notamment pour l'espérance de vie à la naissance (13 ans). Ces résultats abondèrent dans le sens de J. Courtin (1966) qui qualifiait cette **couche « de guerre »** en y voyant un dépôt simultané ou ayant eu lieu en un court intervalle temporel. Certains émettent l'hypothèse d'une **épidémie** ou de **guerre** soudaines sans que cela ne représente l'ensemble de la mortalité, se concentrant sur les individus amoncelés (Sauzade 1983). D'autres encore y voient possiblement un « **accident démographique** » (Chambon 2003). Néanmoins, s'il s'agit certainement des conséquences d'un événement particulier, d'une crise potentielle, ces individus en décubitus dorsal ne constituent pas les seuls défunts de cette couche.

Le niveau A de la phase 2 est constitué d'os épars, disloqués et d'un regroupement important de blocs crânio-faciaux contre la paroi Nord (Figure 5). Les niveaux inférieurs (B et C) contiennent principalement des individus en connexions anatomiques complètes ou partielles ayant entraînés l'hypothèse d'une couche « de guerre », entremêlés d'ossements épars (Courtin 1966, Chambon 2003). P. Chambon (1999, 2003) s'est penché sur la problématique des os épars et des connexions partielles dans la couche 2. Il s'agirait d'un mode habituel de dépôts successifs, perturbé par un événement engendrant le dépôt simultané de certains individus. Cet apport unique ne conclurait pas l'utilisation de la sépulture.

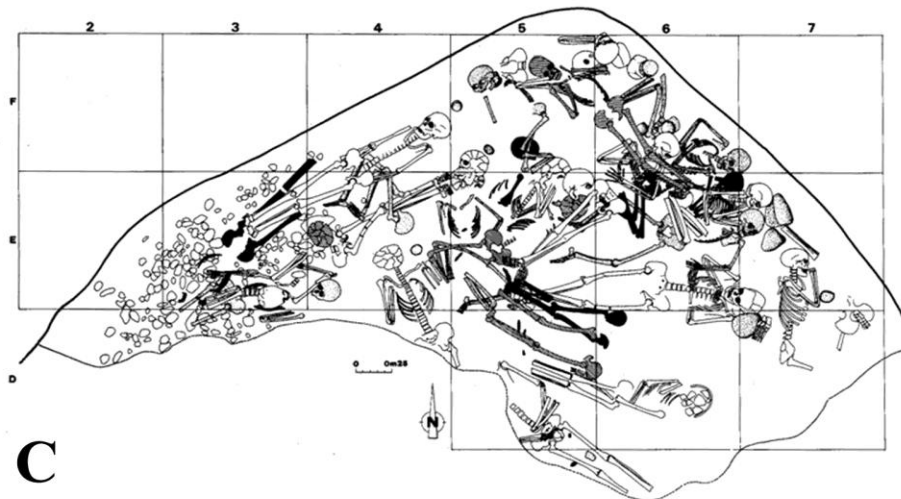
Les sujets n'ont pas de position standard mais sont généralement disposés en décubitus dorsal, parfois latéral avec des variations importantes de la position des membres (Chambon 1999). Par ailleurs, quelques dépôts successifs semblent exister. Enfin, parmi les 34 individus complets de C2, 19 sont concentrés dans les carrés E5, F5 et F6.



A



B



C

Figure 5 Relevé des niveaux supérieur (A), intermédiaire (B) et inférieur (C) de la couche 2 de l'hypogée de Roaix (G. Sauzade 1983)

Un travail récent de J. Hernot (2011) apporte quelques éclaircissements sur la question des foyers. Après analyse des os brûlés, l'auteure propose une concentration de ces derniers dans certains carrés et à une atteinte moindre par le feu des individus retrouvés en connexion soutenant l'hypothèse de remaniement ayant eu lieu après le dépôt simultané. Par ailleurs, les défunts étaient à l'état squelettique lors de l'embrasement de la sépulture et de l'effondrement de la voûte. J. Hernot propose que le feu ai tenu un rôle lors de la destruction de la sépulture et une éventuelle condamnation.

II.1.4.2 *Présentation de la série ostéologique*

L'état de représentation varie de bon à moyen et l'état de conservation est moyen.

La couche 2 a fait l'objet d'une couverture photographique entre chaque niveau (A, B et C). Les individus, les pièces osseuses et le mobilier ont été numérotés, identifiés, enregistrés avec des coordonnées tridimensionnelles et leur orientation. Enfin, tous ont été reportés sur un plan au cinquième sur lequel ne figure pas l'ensemble des os épars. Toute la série ostéologique a été marquée préalablement à notre étude et en partie reconditionnée pendant celle-ci. Les restes osseux sont entreposés au sein de l'ostéothèque de l'UMR 7268, Faculté de Médecine Secteur Nord de Marseille.

Cependant, l'exploitation des données de cet hypogée reste rare, exceptions faites de travaux de thèses (Courtin 1974, Chambon 1999, Aubry 2003, Devriendt 2004a), mémoire (Hernot 2011) et études ponctuelles (Bouville 1980b, Sauzade 1983, Courtin 1984, Sauzade 2012) qui se concentrent sur la couche 2.

Dénombrement

Plusieurs dénombrements ont été effectués pour la couche 2:

1. C. Bouville (1980) établit un Nombre Minimum d'Individus de **41 immatures et 30 adultes**
2. P. Chambon (1999) décompte **57 immatures et 79 adultes** dont 34 individus entiers.

Un nouveau dénombrement est actuellement en cours. Nous avons choisi de revoir l'âge au décès et la diagnose sexuelle des individus sélectionnés parmi les sujets identifiés.

Données biométriques et paléopathologiques

J. Courtin (1974) décrit les individus comme robustes et de faibles statures.

Un certain nombre d'armatures de flèches a été retrouvé dans les cages thoraciques ou proches des individus témoignant de violences interpersonnelles.

Des études paléo-odontologiques ont montré que la population de Roaix ne présentait aucune lésion carieuse et que cela serait peut-être dû à son alimentation ou à son hygiène dentaire (Mockers et al. 2004). De plus, la malposition dentaire est rarement constatée au sein de cette population par rapport à d'autres populations bien plus récentes. C'est un signe que la malocclusion dentaire serait d'origine génétique et non due à la taille des dents ou à des changements de comportements. Cela irait dans le sens d'un isolement génétique de la population de Roaix selon les auteurs par rapport aux populations de comparaison. Cette comparaison ne prend pas en compte les populations contemporaines de l'hypogée de Roaix du Vaucluse.

Données démographiques et recrutement

Les travaux de W. Devriendt et collaborateurs (2001) mettent en évidence des similarités entre les profils paléodémographiques de la population des Boileau et de celle de la couche 2 de Roaix en considérant l'ensemble des défunts. L'auteur souligne que ces données doivent être prises avec recul car le site de Roaix n'est pas conservé dans son ensemble et des individus ont pu disparaître. L'espérance de vie à la naissance et les quotients de mortalité présentent des similarités entre les deux hypogées. Les auteurs ne peuvent pas trancher concernant la question d'un apport unique des défunts à l'hypogée de Roaix.

II.1.5 Dolmen de l'Ubac

II.1.5.1 *Contexte et chronologies du site*

Le dolmen est situé sur le territoire de la commune de Goult à 1,5km au Sud-Ouest et à 38 km au Sud-Ouest d'Avignon (Figure 6). L'altitude moyenne du village est de 228 m N.G.F. mais les variations d'élévation sont importantes. Il est situé sur la rive gauche du Calavon où la plaine se resserre à cause de massifs de molasse tertiaires de plateau (Sauzade et al. 2000b). La zone est plus **accidentée** que l'environnement proche de l'hypogée des Boileau.

Découverte et historique des fouilles

Après de fortes crues en 1994, H. Bonnetain nota la présence de vestiges gallo-romains et d'ossements humains inclus entre deux assises parallèles de murs en pierres sèches (Sauzade et al. 2000b). Des fouilles de nature différentes eurent alors lieu de 1996 à 2001 sous la direction scientifique de G. Sauzade en collaboration avec J. Buisson-Catil et B. Bizot: sauvetage en 1996, programmée annuelle en 1997 puis pluri-annuelle en 1998-1999. L'importante densité des vestiges humains a conduit à une dernière campagne de fouille en 2001. Par ailleurs, des crues importantes du Calavon ont érodé le site à l'automne 2000.

Architecture

Deux couronnes concentriques constituées de dalles verticales étaient recouvertes par un amas de terre formant une demi-sphère (Figure 6), le tout chapeauté par des dalles et des blocs de pierres (Sauzade et al. 2000b, Bizot et al. 2004). Cet ensemble formait un tertre d'environ **14 m** de diamètre. La chambre funéraire trapézoïdale (**1,5 m de large par 2,3 m de long et 1,5 m de hauteur**) était située au centre du tertre. Un dallage en molasse a été aménagé alors que les dalles de paroi s'enfoncent dans le sédiment d'origine. Deux des dalles de couverture avaient déjà été déplacées. Le chevet était en contrebas du monument et se composait d'une dalle verticale, un parement de pierres sèches faisant le lien avec la chambre. Enfin, l'accès à cette dernière se faisait par l'Ouest en ouvrant sur un couloir à double muret

condamné par des blocs. Le dolmen de l'Ubac a été rattaché par son architecture au groupe des dolmens à chambre allongée de Provence occidentale (Sauzade 2011).

Les premières traces d'utilisation constatées lors de la fouille pour cette phase commence avec le réaménagement de la chambre funéraire (Bizot et al. 2004). Un dallage de blocs en pierre de safre est installé dans la partie Est étant perçu comme le niveau de circulation. Par ailleurs, l'espace interne a été aménagé par l'adjonction de blocs. Le niveau semble avoir été perturbé par l'arrachement d'un élément le long de l'individu en décubitus ventral.

Durant cette période d'occupation, le colmatage a été dans un premier temps régulier et conservait les individus en position (Bizot et al. 2004). Par la suite, les apports sédimentaires plus faibles ne le permirent plus, fossilisant uniquement les liaisons persistantes des individus décomposés et situés par-dessus les individus en connexion.

Stratigraphie et occupations du site

Il a été découvert aux abords du tertre des vases et deux stèles brisées, l'une d'elles sous le tertre en position secondaire (Sauzade et al. 2000b, Sauzade 2011). Ces stèles appartiendraient à un monument antérieur situé à l'emplacement du dolmen ou à proximité.

Trois principaux niveaux ont pu être repérés lors de la fouille (Bizot et al. 2004) :

1. **Niveau inférieur** : première phase sépulcrale dans le centre principalement et devant la chambre funéraire, d'environ 10 cm d'épaisseur, fortement remanié
2. **Niveau intermédiaire** : seconde phase de dépôts funéraires débutant par un aménagement de la chambre. L'épaisseur est d'environ 30 cm
3. **Niveau supérieur** : troisième phase de dépôt ayant vu l'effondrement du parement sud-ouest, la percolation de la terre du tertre et le déplacement des dalles de couvertures aménageant un accès vertical. Il mesure environ 17 cm d'épaisseur. Au-dessus de ce niveau, ultime occupation de la sépulture avec des dépôts restreints entre les dalles de couvertures de l'entrée.

Mobilier associé et datations relatives et absolues

Le mobilier associé au niveau intermédiaire est assez restreint et se compose d'une armature de flèche foliacée et d'une pendeloque en pointe en calcaire.

D'après les datations ^{14}C effectuées sur les sujets, l'occupation de ce niveau s'effectuerait débuterait autour de 4440 ± 45 5BP (Ly 11492), soit pour une calibration à 2 sigmas entre **3340 à 2946 av. J.-C.** d'après B. Bizot et collaborateurs (2004) et communications personnelles. Elle prendrait fin autour de 4140 ± 45 BP (Ly 900), soit avec une calibration à 2 sigmas entre **2912 à 2878 av. J.-C.**



Figure 6 Vue générale du dolmen de l'Ubac lors de la fouille (cliché G. Sauzade)

Gestes et pratiques funéraires

Si le niveau supérieur n'est constitué que de quelques connexions partielles, pièces osseuses éparses déplacées, la densité d'ossements et le nombre de connexions primaires sont bien plus importants pour le niveau intermédiaire. Disposés dans la partie Est pour la grande majorité, les individus en connexion affichent pour la plupart un décubitus latéral, membres inférieurs repliés (Sauzade et al. 2003). Un individu est déposé en décubitus ventral. Les membres supérieurs et inférieurs sont majoritairement repliés. Plusieurs membres supérieurs

et inférieurs en connexion ont été déposés au contact des individus de manière ultérieure. Enfin, un sujet a été déposé devant l'entrée.

Les dépôts semblent être opportunistes, hormis pour certains sujets (Bizot et al. 2004). Leur majorité est primaire mais plusieurs cas de dépôts secondaires sont envisagés.

II.1.5.2 *Présentation de la série ostéologique*

L'état de représentation des squelettes est moyen mais l'état de conservation est excellent.

Partiellement décapé et photographié en 1999, le niveau intermédiaire fut totalement fouillé et relevé en 2000. Chaque individu, pièce osseuse et mobilier furent enregistrés en trois dimensions et reportés sur un relevé au cinquième. La série ostéologique a été lavée, conditionnée et marquée préalablement à notre étude. Les restes osseux du dolmen sont conservés au dépôt archéologique régional des Milles à Aix en Provence.

La description détaillée du matériel osseux mais aussi les relevés et photographies sont à la fois disponibles à travers les rapports de fouilles, travaux universitaires et publications (Sauzade et al. 2000a, Sauzade et al. 2001, Michel 2002, Sauzade et al. 2002, Sauzade et al. 2003, Bizot et al. 2004, Sauzade et Bizot 2010, Sauzade 2011, 2012). Une monographie du site est actuellement en préparation.

Dénombrement

Un nombre minimum de **six immatures** et de **15 adultes** a été signalé pour le niveau intermédiaire (Michel 2002, Sauzade et al. 2003). Pour les besoins de nos travaux, l'estimation de l'âge au décès et la diagnose sexuelle ont été effectuées.

Données démographiques et recrutement

Le sexe ratio est équilibré au sein de la sépulture et tous les âges sont représentés bien qu'il existe comme dans d'autres sépultures de la période un déficit de la classe d'âge 0-1 ans (Sauzade et al. 2003).

Il ne semble pas exister de conditions particulières au recrutement puisque des sujets immatures et adultes partagent le même espace et qu'il en va de même concernant le sexe.

II.2 Méthodologie

II.2.1 Etude préliminaire : : diagnose sexuelle et estimation de l'âge au décès

II.2.1.1 Détermination du sexe des sujets

La diagnose sexuelle des individus adultes s'effectue par l'observation du bassin. Ce dernier est l'ossement le plus fiable du squelette pour déterminer le sexe en contexte archéo-anthropologique. Son dimorphisme sexuel s'exprime par des variations de formats dues aux contraintes fonctionnelles de la locomotion mais surtout celles de la parturition (Bruzek et al. 2005). Il existe deux types de méthodes : morphologiques (observation de caractères) et morphométriques (prise de mesures).

La détermination sexuelle a déjà été effectuée sur la plupart de nos séries et repose sur l'observation morphologique de cinq caractères de l'os coxal pour une fiabilité à 95% (Bruzek 2002). Cependant, nous avons choisi de reprendre cette étude en utilisant la **Diagnose Sexuelle Probabiliste** (Murail et al. 2005). Le taux de détermination correcte approche de 100%. Un logiciel calcule la probabilité d'appartenir à un sexe d'après huit données coxales métriques. Une combinaison minimum de quatre variables est nécessaire. Seuls les résultats de la diagnose sexuelle par DSP ont été considérés dans notre étude.

II.2.1.2 Estimation de l'âge au décès des sujets

On ne peut être à la fois précis et fiable pour l'estimation de l'âge au décès. En effet, la variabilité individuelle de la croissance et de la sénescence, fruit des interactions de la

génétique, de la culture et de l'environnement, est trop importante. Prférant la fiabilité à la précision, nous avons utilisé des méthodes basées sur les **variations de la surface sacro-pelvienne iliaque et de la symphyse pubienne** (Schmitt 2005, 2008). Ces méthodes tiennent compte de la variabilité intra et inter-populationnelle européenne. Les individus sélectionnés devaient être classés entre 20-49 ans. Les sujets classés >30 ans et > 40 ans subissaient systématiquement un examen complet visuel et une vérification des ossements scannés afin de détecter des signes de sénescence sur le squelette tels que des signes d'arthrose ou d'ostéoporose. Si tel était le cas, ils étaient écartés du corpus. Afin d'éliminer les individus ayant quasiment atteint la maturation squelettique, l'absence de fusion des éléments suivants nous permet de les différencier des jeunes adultes : **l'épiphyse sternale de la clavicule, la crête iliaque, la tubérosité ischiatique et la symphyse pubienne.**

II.2.2 Les variables biométriques

L'anthropométrie permet de définir les caractéristiques dimensionnelles d'un sujet par la prise de mesures. Parmi les disciplines de l'anthropométrie, **l'ostéométrie** est la mesure des os qu'elle définit par leur format et leur conformation. Dans le cas du format, les mesures définissent les dimensions de l'os. Le rapport de certaines mesures permet l'obtention d'**indices anatomiques** afin de s'émanciper du facteur dimensionnel et de décrire la conformation osseuse (aplatissement et robustesse de la diaphyse). Cette description est utilisée afin de définir des morphotypes populationnels. La morphologie est considérée comme l'interaction entre facteurs génétiques, socio-culturelles et écologiques. La transmission génétique des caractères est sujette à débat, certains la reléguant loin derrière l'impact environnemental (Gould 1997). La morphologie constitue donc un indicateur acceptable pour analyser l'homogénéité des populations. Les morphotypes permettent d'appréhender le dimorphisme sexuel ainsi que les évolutions spatiales et temporelles au sein d'une population ou entre différentes populations. Ces phénomènes sont ensuite interprétés en termes d'adaptation culturelle ou environnementale, de mouvements de peuplement, d'émergence de populations, d'origine géographique des populations...

Les questionnements de notre discipline ont permis à l'anthropométrie de connaître un développement important (Gould 1997). La volonté de comprendre les différences entre

populations et de les classer à l'image des travaux de Linné a entraîné l'élaboration de concepts raciaux basés sur les morphotypes dès le 19^{ème} siècle. On peut citer les travaux de S. Morton, A. de Gobineau ou F. Galton. D'autres critères tels que la pigmentation de la peau ou des cheveux sont aussi pris en compte (Coon 1939, Haddon 1927). Ces études portent à la fois sur des populations actuelles et des populations passées (Pittard 1909, Coon 1939, Riquet 1970). Les travaux de Coon (1939) décrivent les morphotypes crâniens des populations préhistoriques européennes dont néolithiques et font le lien entre cultures matérielles et morphotypes. Ce lien est repris par Riquet (1970) qui propose une nouvelle classification des populations néolithiques européennes afin de comprendre les mouvements de populations et l'émergence des cultures matérielles d'après sa périodisation : Néolithique ancien, moyen et final. Il s'intéresse notamment au Néolithique ancien où il envisage un apport exogène à la population d'Europe occidentale. Plus récemment, A. Civetta (2010) a utilisé l'approche anthropométrique afin de percevoir la variabilité diachronique et synchronique de plusieurs populations du Néolithique moyen autour du Bassin lémanique. Ces travaux abordent les conditions et les modes de vie de ces populations.

Grâce à sa facilité d'application, l'ostéométrie « classique » reste un outil de premier ordre pour caractériser les individus ou les groupes atypiques au sein d'une population. Une des limites de l'ostéométrie « classique » développée plus bas (cf II.2.5) est qu'elle tient seulement compte de la morphologie externe de l'os. **Les mesures externes et les indices anatomiques donnent une estimation valide des contraintes biomécaniques** (Stock et Shaw 2007a).

II.2.2.1 *Choix des mesures et indices des variables biométriques*

Les mesures sélectionnées doivent être répétables, faciles à prendre et reproductibles. Pour la majorité, il s'agit de celles issues des travaux de Martin et Saller (1959) que par souci de compréhension, et afin de faciliter les analyses statistiques, nous avons recodé suivant les indications de O. Dutour (1989). Contrairement au codage de Martin et Saller (1959), celui-ci présente l'avantage d'éviter les répétitions pour une même mesure entre les ossements. Cela facilite à la fois la compréhension et le traitement statistique.

Au total, 64 variables métriques par côté ont été mesurées au moyen d'une planche ostéométrique, d'un ruban millimétrique, d'un pied à coulisse et d'un céphalomètre. Les mesures du côté gauche ont été préférentiellement prises en compte lors de nos analyses par convention et afin d'éviter l'enregistrement de certains facteurs parasites tels que l'asymétrie. Dix-neuf indices anatomiques découlent de ces variables (Martin et Saller 1959, Olivier 1960, Dutour 1989, Frelat 2007). Les figures (Figure 7 et Figure 8) et tableaux (Tableau III et IV) suivants définissent et illustrent les variables ostéométriques pour chacun des os. Les mesures des os longs se répétant ne sont explicitées que pour l'humérus.

Les illustrations du membre supérieur correspondent à (Figure 7) :

- **A** Mesures de la scapula en vue latérale
- **B** Mesures de la scapula en vue postérieure
- **C** Mesures de la clavicule en vue supérieure
- **D, G et H** Mesures de l'humérus en vue antérieure, de l'épiphyse proximale de en vue supérieure et de l'épiphyse distale en vue inférieure
- **E** Mesures de l'ulna en vue latérale
- **F** Mesures du radius en vue antérieure

Les illustrations du membre inférieur correspondent à (Figure 8):

- **I** Mesures du fémur en vue antérieure
- **J** Mesures du tibia en vue antérieure
- **K** Mesures du talus en vue médiale
- **L** Mesures du talus en vue dorsale
- **M** Mesures du calcanéum en vue dorsale
- **N** Mesures du calcanéum en vue latérale

Os	Variables	Codage Dutour (1989)	Codage Martin et Saller (1959)	Autres codages
Scapula	hauteur	OHX		1
	largeur	OLX		2
	longueur de l'épine	OLE		7
	hauteur de la cavité glénoïde	OHG		12
	largeur de la cavité glénoïde	OBG		13
	indice scapulaire (OLX/OHX)	ISO		
Clavicule	longueur maximale	CLX		1
	périmètre au milieu	CPM		6
	largeur acromiale	LEA		2A
	indice de robustesse (CPM/CLX)	IRC		
Humérus	longueur maximale	HLX		1
	largeur maximale de l'épiphyse proximale	LEP		3
	longueur physiologique	HLP		
	diamètre médiolatéral de la tête articulaire	DTT		9A
	diamètre antéropostérieur de la tête articulaire	DVT		10
	diamètre médiolatéral de la tubérosité deltoïde	HDX		5
	diamètre antéropostérieur de la tubérosité deltoïde	HDW		6
	périmètre minimum	HPW		
	épaisseur antéropostérieure de l'épiphyse distale	ED		Olivier (1960) Frelat (2007)
	largeur médiolatérale de l'épiphyse distale	HBE		4
		indice de robustesse (LEP/HLX)	IRR	
	indice diaphysaire (HDX/HDW)	IPB		
Radius	longueur maximale	RLX		1
	longueur physiologique	RPL		2
	périmètre minimum	RPW		3
	diamètre maximum au milieu	Dmax		
	diamètre minimum au milieu	Dsmax		
	épaisseur antéropostérieure de l'épiphyse distale	ED		
	largeur médiolatérale de l'épiphyse distale	RBE		5
		indice de robustesse (RPW/RLX)	IRR	
	indice diaphysaire (Dsmax/Dmax)	IRD		
Ulna	longueur maximale	ULX		1
	longueur physiologique	ULP		2
	périmètre minimum	UPW		3
	diamètre médiolatéral sous-sigmoïdien	UTS		13
	diamètre antéropostérieur sous-sigmoïdien	USS		14
	épaisseur antéropostérieure de l'épiphyse distale	ED		
	largeur médiolatérale de l'épiphyse distale	UBE		
		indice de robustesse (UPW/ULX)	IRU	
	indice de platôlénie (UTS/USS)	IPL		
Fémur	longueur maximale	FLX		1
	longueur physiologique	FLP		2
	diamètre vertical de la tête fémorale	DVT		18
	diamètre médiolatéral de la tête fémorale	DTT		19
	diamètre médiolatéral sous-trochantérien	FTS		9
	diamètre antéropostérieur sous-trochantérien	FSS		10
	périmètre au milieu	FPM		8
	diamètre médiolatéral au milieu	FTM		7
	diamètre antéropostérieur au milieu	FSM		6
	épaisseur antéropostérieure de l'épiphyse distale	ED		
	largeur maximale de l'épiphyse distale	FBE		21
		indice pilastrique (FSM/FTM)	IPI	
		indice de robustesse (périmètre, FPM/FLP)	IRP	
		indice de platymérie (FSS/FTS)	IPM	
		Indice condylo diaphysaire (FTM/FBE)	ICD	
	Indice de robustesse (diamètre, FTM+FSM/FLP)	IRD		
Tibia	longueur maximale	TLX		1
	longueur physiologique	TLP		2
	périmètre minimum	TPW		10B
	largeur de l'épiphyse proximale	TBE		3
	diamètre antéropostérieur au foramen nourricier	TSN		8A
	diamètre médiolatéral au foramen nourricier	TTN		9A
	épaisseur antéropostérieure de l'épiphyse distale	TBE		6
	largeur médiolatérale de l'épiphyse distale	ED		7
		indice de robustesse (TPW/TLX)	IRT	
	indice cnémique (TTN/TSN)	IPC		
Talus	longueur	ALX		1
	largeur	ABW		2
	hauteur	AHW		3
		indice largeur-hauteur (ABW/ALX)	IBA	
		indice hauteur-largeur (AHW/ALX)	IHA	
Calcaneum	longueur maximale	CAL		1
	hauteur	CHW		4
	largeur minimale	CBW		3
		indice largeur-longueur (CBW/CAL)	ILC	
	indice hauteur-largeur (CHW/CAL)	IHC		

Tableau III Liste des variables biométriques sélectionnées du membre supérieur et inférieur

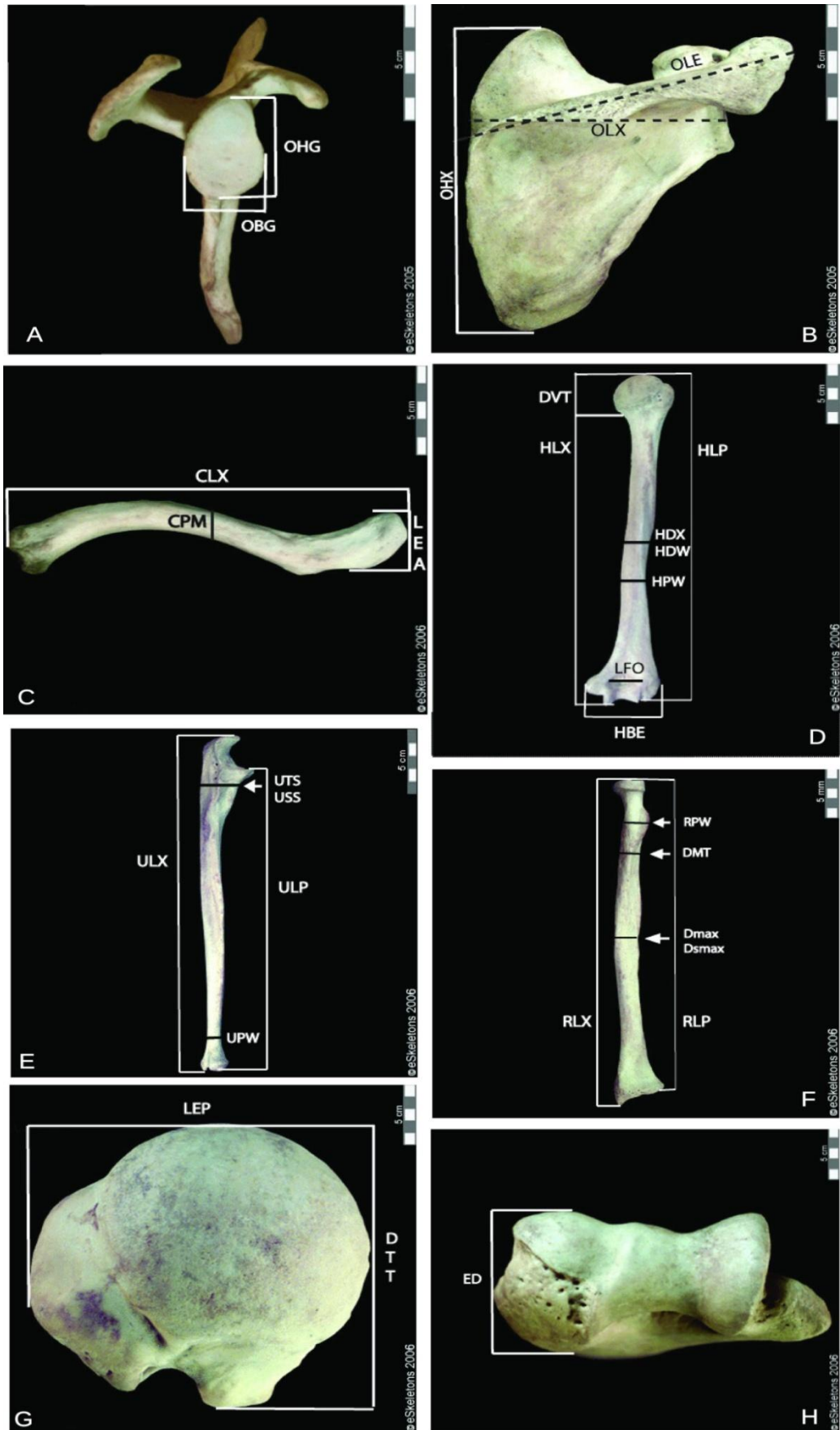


Figure 7 Illustrations des variables biométriques pour le membre supérieur (clichés ©eSkeleton)

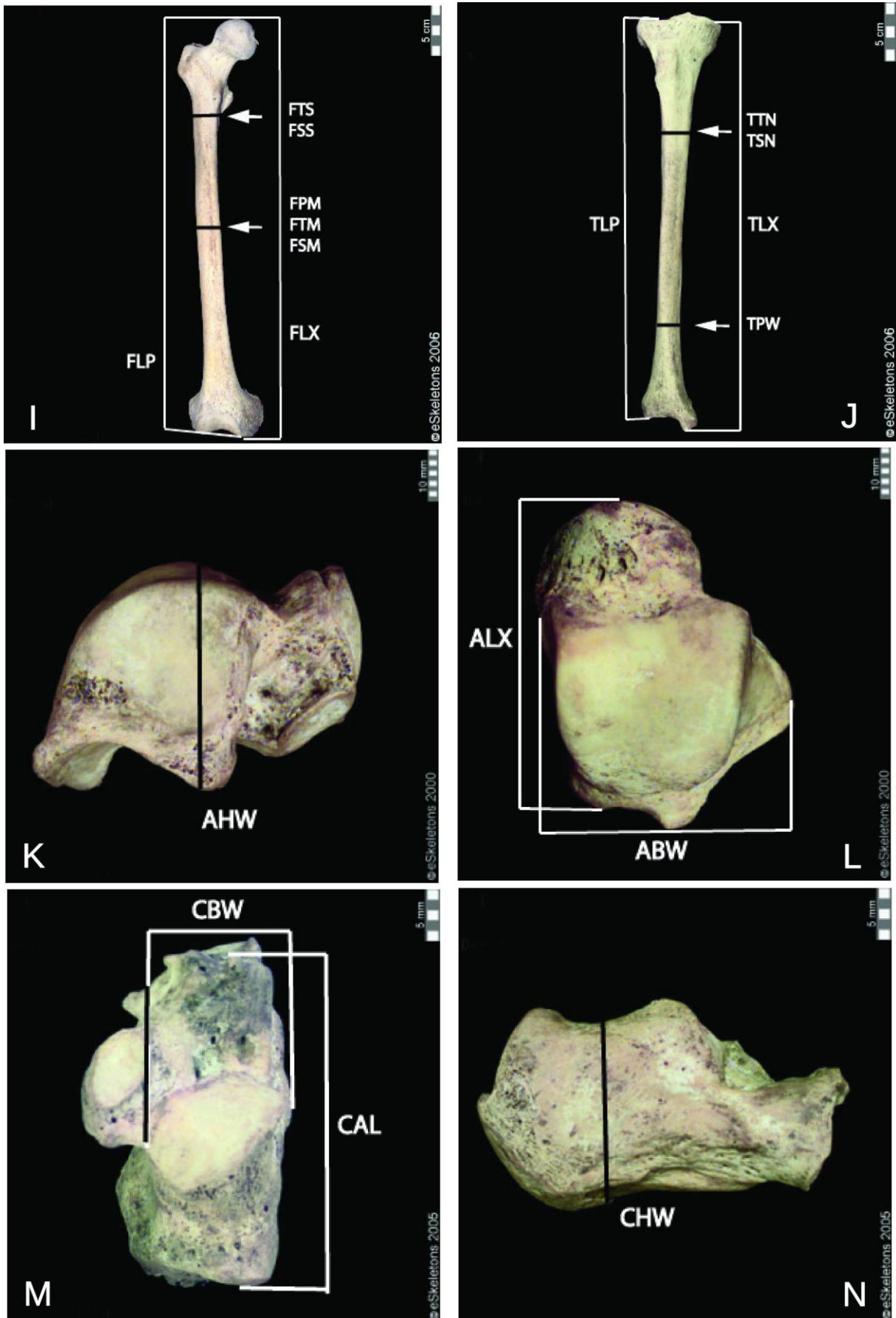


Figure 8 Illustrations des variables biométriques pour le membre inférieur (clichés ©eSkeleton)

II.2.2.2 *Analyses statistiques des variables biométriques*

Statistiques descriptives

La description d'une distribution s'effectue par la moyenne, la médiane, l'écart-type et la variance afin d'observer la mesure de la tendance centrale et la dispersion des observations.

Cette analyse intra-échantillon ne sera menée que sur la série de l'hypogée des Boileau car les autres séries présentent trop peu d'individus. Afin de comparer de manière visuelle les paramètres et d'identifier les individus atypiques, nous avons choisi de travailler avec les quantiles, et plus précisément les quartiles. Ces derniers sont des mesures de position divisant l'ensemble en quatre parties égales. La médiane de la distribution définit le second quartile. En dessous du premier quartile on trouve 25% d'observations présentant les plus basses valeurs de la variable et au-dessus 75% d'observations présentant les valeurs les plus élevées de la variable. Enfin, sous le troisième quartile sont situées 75% d'observations présentant les valeurs les plus basses de la variable et au-dessus 25% d'observations aux valeurs les plus élevées. Les boîtes à moustache de Tukey sont utilisées afin de représenter les individus éloignés se situant entre 1,5 et 3 écarts interquartiles à partir de la bordure inférieure ou supérieure de la boîte et ceux extrêmement atypiques à plus de 3 écarts interquartiles.

Les analyses statistiques ont été menées avec les logiciels **SPSS© 19** (IBM Corp., 2010 Armonk, NY) et **R 2.15** (R Foundation for Statistical Computing, 2013, Vienna).

Analyses univariées

Afin d'éviter toute hypothèse sur les formes analytiques des distributions, des tests non paramétriques ont été utilisés. Nos variables étant quantitatives le test Mann-Whitney a été utilisé afin d'estimer le dimorphisme sexuel de la population de l'hypogée Boileau. La correction de Bonferroni étant jugée trop conservatrice, nous avons appliqué une correction de type FDR c.a.d. False Discovery Rate (Benjamini et Hochberg 1995). Les valeurs diffèrent significativement si la p-valeur est inférieure ou égale à 0,05. Cependant, ce test est fonction du nombre d'individus étudiés, plus ce dernier est faible, moins le test sera puissant. Il ne nous a pas semblé opportun de réaliser ce test en-dessous de cinq individus présents, sexes

confondus. Cela a donc réduit notre marge de manœuvre concernant l'hypogée du Capitaine, de Roaix et du dolmen de l'Ubac. Les variables continues et discontinues alors considérées pour ces sites et pour tous les indicateurs devaient apparaître au minimum chez quatre individus de sexes différents.

Analyse en Composantes Principales et des Correspondances Multiples

Cette analyse (ACP) permet de déterminer des facteurs au sein des données quantitatives considérées pour traduire des relations entre sujets et variables. Suite à leur hiérarchisation en fonction de leur poids dans le nuage de point (c.a.d. selon le pourcentage d'inertie totale expliquée), ces facteurs sont projetés sous forme d'axes factoriel dans une représentation graphique des données (individus et variables) de type nuage de point. Ce graphique en lien avec des indicateurs numériques (calculs d'inertie) permet l'interprétation de l'analyse. L'ACP permet donc de réduire la dimension des données initiales en les remplaçant par des facteurs de nombre réduit mais jouant plus sur la dispersion des individus. Le résultat est une projection graphique sous forme d'un nuage de point des individus dans un plan factoriel par rapport à un point d'origine (individu consensus).

Le choix des variables et leur nombre ne sont pas anodins. Enfin, les valeurs manquantes ne sont pas tolérées.

Les axes factoriels sont composés par les facteurs expliquant un maximum d'inertie totale. Le cercle des corrélations permet de faire le lien entre les variables, leur contribution aux axes et les relations qu'elles entretiennent entre elles (corrélation positive ou négative). La projection graphique n'a qu'une valeur descriptive mais on peut ainsi mettre en évidence l'existence d'individus atypiques ou le regroupement de sujets homogènes. **Ce test sera appliqué à la caractérisation des sujets de l'hypogée des Boileau concernant les données quantitatives (mesures biométriques et propriétés géométriques de sections transverses).**

L'Analyse des Correspondances Multiples (ACM) représente une extension de l'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) analysant la liaison entre deux variables qualitatives. L'ACM permet de dépasser ce problème et quantifie les données nominales par la transformation en données ordinales des observations (individu) et des modalités (indices). Cela permet d'illustrer la position des observations dans la distribution des modalités. Ces dernières divisent les individus en sous-groupes homogènes. Si les individus possédant des

modalités identiques sont classés dans les mêmes sous-groupes alors les variables sont homogènes. Dans le cas de variables quantitatives, l'ACM nécessite une transformation de ces variables (indices) en variables ordinales. Nous avons divisé chaque groupe de variables en quatre parties égales (quartiles) afin de décrire la position de l'individu au sein de la distribution de ces observations. **Ce test sera appliqué à la caractérisation des sujets de l'hypogée des Boileau concernant les données quantitatives (indices anatomiques, caractères morphologiques ostéoarticulaires, lésions enthésopathiques).**

II.2.3 Les caractères morphologiques ostéoarticulaires

Nous emploierons le terme généraliste de « **Caractère Morphologique Ostéoarticulaire** » pour désigner les manifestations osseuses que nous avons choisi d'étudier. **Ces dernières font partie des marqueurs ostéoarticulaires d'activités et sont le plus souvent des surfaces articulaires surnuméraires et autres modifications morphologiques non pathologiques** (Kennedy 1989, Dutour 1992, Capasso et al. 1999, Villotte 2008b, Sauzade 2011). Ces caractères sont considérés comme la manifestation d'un stress subi par le squelette au sens où une adaptation non spécifique est demandée à ce dernier suite à une contrainte, faisant appel à la plasticité de l'os. K. Kennedy (1989) et L. Capasso et collaborateurs (1999) recensent ces caractères et proposent les modes du stress et une (des) activité(s) répétitive(s) leur étant liés en se basant sur divers travaux antérieurs. Cependant, pour certain auteur, ces caractères sont plutôt considérés comme des caractères discrets c'est-à-dire qu'une composante génétique agit avant les contraintes biomécaniques (Voisin 2012). Les caractères sélectionnés ont été examinés avec attention suite à une revue de la littérature et en tenant compte de leur étiologie.

II.2.3.1 *Choix, codage et cotation des caractères morphologiques ostéoarticulaires*

Tous les caractères sélectionnés proviennent de L. Capasso et collaborateurs (1999). Afin de faciliter le traitement statistique, chaque caractère a été coté en deux classes : présence/absence (1/0). Une différence est effectuée entre absence et non observable si la partie osseuse n'est pas conservée. Chaque côté a été enregistré indépendamment quand les

manifestations sont bilatérales afin de pouvoir aussi les considérer par individu. Le Tableau IV indique l'ensemble des caractères sélectionnés et leur codage.

II.2.3.1.1 Clavicule

Empreinte du ligament costo-claviculaire (costal syndesmosis/costoclavicular sulcus)

Une lésion en «J» ou rugueuse et ovale apparaît sur la surface médio-inférieure de la clavicule au niveau de l'insertion de ce ligament (Figure 9, A). Cela se produit suite à une sollicitation intensive des muscles pectoraux et donc du ligament costo-claviculaire (Capasso, 1999). Celui-ci permet plus particulièrement la flexion du membre supérieur et son adduction. L'origine mécanique de ce caractère est sujette à caution pour certains auteurs (Castex 1994, Voisin 2012). Le dimorphisme sexuel de ce caractère semble dépendre de la population d'étude sans préférence de latéralité (Voisin 2012). Cependant, les cas de bilatéralité sont bien plus fréquents. De plus, la fréquence est assez variable au sein des populations modernes : 10% de la population nord-américaine (Saunders 1978), 65-80% de la population française (Olivier 1951), 90% de la population indienne (Jit et Kaur 1986). Enfin, ce caractère est assez spécifique à l'Homme moderne et totalement absent des primates non humains. Les cas de bilatéralité sont parfois retrouvés dans de cas mouvements de circumduction intenses des épaules (costoclavicular sulcus, Capasso 1999).

II.2.3.1.2 Scapula

Os acromial bipartite

Trois points d'ossification (méta-acromion, mésoacromion et préacromion) fusionnent entre eux et la base de l'épine pour que l'acromion apparaisse (Figure 9, B). On remarque que certains individus présentent une absence de la fusion d'au moins l'un des trois centres d'ossification (*os acromiale*). L'acromion ne fusionnant que tardivement, l'os acromial ne peut être observé que sur des individus ayant atteint la maturation squelettique et sa morphologie sera variable en fonction des éléments n'ayant pas fusionné.

Aucun dimorphisme sexuel n'est constaté dans sa fréquence mais cette dernière est nettement plus importante concernant les cas de bilatéralité. Entre 0,5% et 20% des scapulae présentent un os acromial (Voisin 2012). Une diminution de la mobilité de l'épaule peut être parfois constatée et augmenter le risque de déchirure de la coiffe des rotateurs. La fréquence de ce marqueur est plus importante chez les populations africaines qu'européennes. Son étiologie est sujette à caution. En effet, certains chercheurs le perçoivent plus comme un caractère épigénétique que résultant d'une sollicitation intensive des muscles de la coiffe des rotateurs empêchant son ossification (Capasso et al. 1999, Voisin 2012).

II.2.3.1.3 Os coxal

Facettes accessoires sacrées

Il a été constaté en face postérieure des os coxaux, au niveau du 1^{er} ou 2^{ème} foramen sacré (Figure 10, C), des facettes sacrées de forme ovoïdes, et les facettes correspondantes sur le coxal au niveau de la tubérosité iliaque (Capasso et al. 1999). Quand elles sont situées au niveau du 2^{ème} foramen sacré, cette paire sera probablement unique mais deux paires de facettes peuvent coexister.

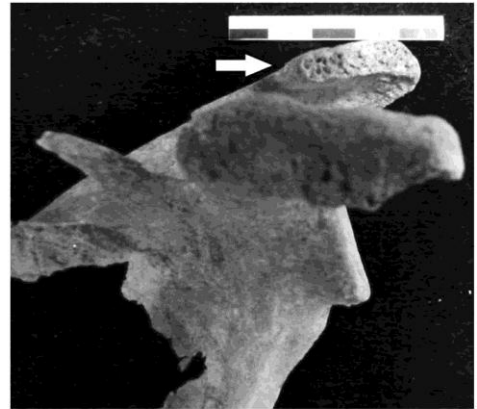
Différents facteurs peuvent être responsables tels que le port de charge lourde, des contraintes biomécaniques lors la flexion de la colonne ou sa compression axiale. Il semble y avoir un dimorphisme sexuel favorisant son apparition chez les sujets masculins. La fréquence augmente avec l'âge sans démontrer de préférence entre l'unilatéralité ou la bilatéralité, légèrement plus fréquente (Trotter 1937). Quand ce caractère n'est pas bilatéral, la latéralité dominante varie selon des populations.

Elargissement de l'articulation semi-lunaire

Il a développement sur le bord acétabulaire, dans la partie inférieure du cotyloïde, d'une formation osseuse étendant la cavité au niveau de la zone d'insertion des ligaments transverse (Figure 10, D). Un pont osseux est alors formé au-dessus du sillon acétabulaire (Capasso et al. 1999). Des mouvements d'adduction et de flexion de la hanche seraient à l'origine de ce caractère.



A

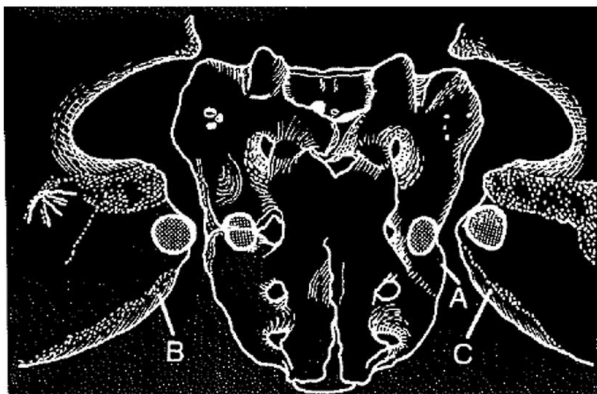


B

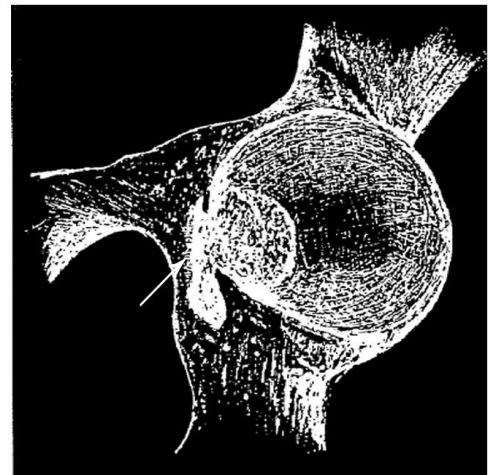
Figure 9 Illustration des caractères morphologiques ostéoarticulaires pour le membre supérieur

A Empreinte du ligament costo-claviculaire (marqueur) sur une clavicle vue inférieure (cliché A. Lambert)

B Os acromial bipartite (marqueur) sur une scapula en vue supéro-antérieure (cliché A. Lambert)



C



D

Figure 10 Illustration des caractères morphologiques ostéoarticulaires pour l'os coxal

C Facettes accessoires sacrées sur un sacrum en vue postérieur (**A**) et os coxaux (**B** et **C**). Le dessin est issu de Kennedy 1989, p.154, fig. 2 n°1

D Elargissement de l'articulation semi-lunaire d'un acétabulum (marqueur) en vue latéro-antérieure (dessin issu de Charles 1893-4, p.7, fig. 3)

II.2.3.1.4 Fémur

Empreinte coxale

Située à proximité du bord antéro-supérieur de la surface articulaire de la tête fémorale, contrairement à la facette de Poirier, il n'y a pas de continuité avec la facette (Capasso et al. 1999). La fréquence n'est pas différente entre les côtés mais les sujets masculins sont plus touchés que les femmes (Saunders 1978). Les sujets supérieurs à 30 ans sont plus atteints. L'étiologie est mal connue mais ce caractère est souvent rattaché à la posture accroupie tout comme la fosse d'Allen et la facette de Poirier (Capasso et al. 1999).

Extension de la surface articulaire de la tête fémorale (Facette de Poirier)

Parfois confondu avec l'empreinte coxale et de définition variable, sa cotation peut être faussée avec jusqu'à 22% d'erreurs intra observateurs parfois et ainsi induire une confusion quant à sa distribution dans les populations (Saunders 1978). La facette est située au niveau de la surface antérieure du col fémoral (Figure 11, E). Il n'y a pas de côté préférentiel d'apparition. Le caractère est souvent bilatéral (Kennedy 1989, Castex 1994, Capasso et al. 1999). La présence du caractère est plus commune chez les hommes et il n'est pas réparti spécifiquement entre les populations. Des mouvements d'hyperflexion de la hanche et d'abduction du fémur seraient à l'origine de ce caractère.

Fosse d'Allen

La trame de l'os trabéculaire apparaît au fond de cette dépression généralement ovoïde à la suite d'une perte d'une portion corticale (Capasso et al. 1999). Situé sur la face antérieure et dans la moitié inférieure du col fémoral (Figure 11, F), ce caractère ne semble pas favoriser une latéralité mais comme pour la facette de Poirier, les cas d'atteintes bilatérales sont plus fréquents. Selon les études, un dimorphisme sexuel favorisant les femmes apparaît mais ce n'est pas le cas dans toutes les études (Saunders 1978, Debono 2006). L'âge influe cependant sur la formation de ce caractère selon ces auteurs. En effet, ils ont démontré que sa fréquence était importante chez les sujets de moins de 30 ans avant que la fréquence ne diminue. Ce caractère serait donc un marqueur immature de la formation du col fémoral. D'autres auteurs

pensent que le contact entre le col et les ligaments ou le resserrement de la capsule articulaire autour du col lors de la rotation de la tête ou l'extension du fémur seraient à l'origine de ce caractère.

Facette du condyle latéral (facette de Martin)

Situé sur le bord latéral de la trochlée latérale du fémur (Figure 11, G), ce caractère en croissant de lune serait dû à la pression des tendons quadriceps pendant la flexion du genou (Capasso et al. 1999).

Facette de Charles

Ce caractère est situé de manière supérieure par rapport à la surface articulaire du condyle médial (Figure 11, H) et s'étend jusqu'au tubercule adducteur (Capasso et al. 1999). Certains auteurs l'ont attribué peu probablement au mouvement d'hyperflexion (Charles 1893-1894) quand d'autres n'y voient qu'une variation du muscle gastrocnémien (Kostick 1963, Trinkaus 1975).

Empreinte tibiale

Cette dépression ayant un aspect de trames est située sur la partie distale de la face postérieure fémorale, au-dessus des condyles (Figure 11, I). Elle serait due au contact entre cette zone et le bord postérieur du plateau tibial (Capasso et al. 1999).

Extension de la ligne inter condylienne

La sévérité de ce caractère varie (Capasso et al. 1999). Il est attribué à l'usure de la fosse intercondylienne par le ligament croisé postérieur lors de l'hyperflexion du genou (Figure 11, J). Sa fréquence varierait selon les populations et leur habitude de posture accroupie.

II.2.3.1.5 Patella

Patella de Messeri

Les patellas atteintes par ce caractère possèdent une incisure à bords sclérotiques au niveau supéro-latéral de son pôle (Figure 12, K). Différentes étiologies sont considérées : la fusion incomplète du ou des centres d'ossification de l'os ou un stress mécanique lié à une flexion régulière du genou (Capasso et al. 1999). Aucune préférence concernant la latéralité ou l'asymétrie n'est relevée. Cependant, les femmes semblent plus atteintes que les hommes (Hedayati et Saifuddin 2009).

II.2.3.1.6 Tibia

Facettes d'accroupissement médiales et latérales

S'articulant avec des facettes parfois présentes en vis-à-vis sur le talus, ces surfaces articulaires sont surnuméraires (Figure 12, L). Ces légères dépressions sont disposées en face antérieure sur la partie distale du tibia à la jonction entre la diaphyse et la partie s'articulant avec le talus (Boulle 2001). La flexion de la cheville entraîne des pressions régulières et intenses créant les facettes. Si une facette est présente sur le tibia, il n'y en a pas forcément une en réponse sur le talus et une facette médiale n'appelle pas une facette latérale. Par ailleurs, aucune différence n'est notée selon le sexe et selon l'asymétrie bilatérale (Boulle et Kurzenne 1999, Boulle 2001).

Environ 20% d'individus présentent ce caractère sans lien avec l'origine populationnelle (Boulle et Kurzenne 1999). Néanmoins, si la posture accroupie n'est pas utilisée fréquemment, la facette disparaît au cours de la vie du sujet. Il s'agirait donc d'un cas de susceptibilité génétique *in utero* lié à l'existence de contraintes mécaniques plutôt qu'une origine génétique. Ce caractère est donc inné mais disparaît si le sujet ne subit pas de contraintes biomécaniques. Sa présence chez l'adulte est donc liée à des facteurs mécaniques.

II.2.3.1.7 Talus

Facettes d'accroupissement médiales et latérales

Ces facettes répondent à celles présentes sur le tibia et présentent la même étiologie (Boulle 2001). Elles sont situées dans le col du talus et s'articulent avec la surface trochléaire (Figure 12, M). Cependant, si l'une d'entre elles est présente sur le talus, une facette tibiale lui est forcément associée.

II.2.3.2 *Analyses statistiques des caractères morphologiques ostéoarticulaires*

L'analyse intra-site ne sera effectuée que pour la série de l'hypogée des Boileau et l'analyse inter-échantillon se fera selon le sexe.

Le nombre d'individus pour lequel les caractères ont été observés permet d'obtenir les fréquences d'apparition par le calcul de la prévalence (Waldron 1994). Ainsi soit n le nombre d'individus présentant le caractère et N le nombre total d'individus pour lequel il est observé.

Une analyse des fréquences totale et par sexe pour chaque caractère a donc été menée au sein de l'hypogée des Boileau. Le test exact de Fisher a été réalisé afin de comparer les fréquences obtenues pour chaque sexe et leur asymétrie puisqu'il ne nécessite pas d'effectif minimum et qu'il convient à notre type de données. Le seuil de la signification statistique est fixé à 5%.

L'étude de l'asymétrie a été réalisée en tenant compte des caractères considérés comme bilatéraux.



E



F



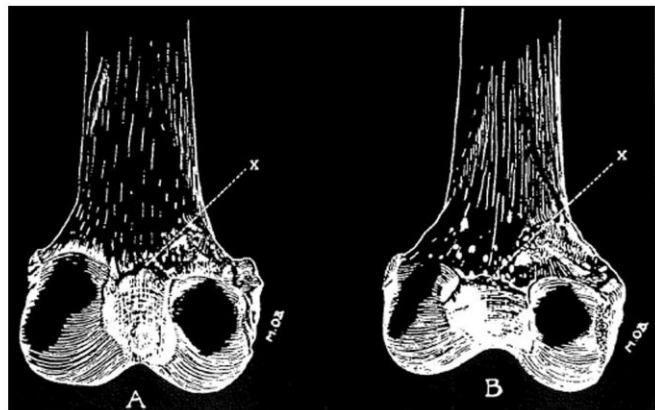
G



H

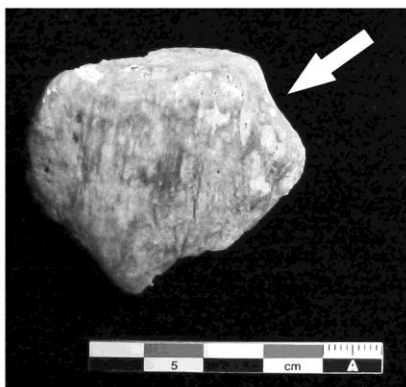


I



J

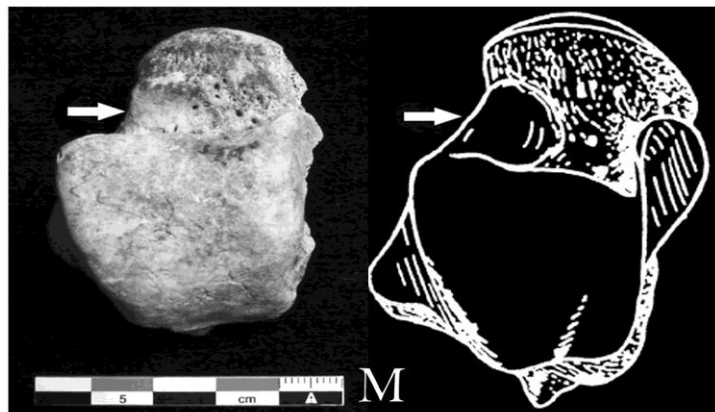
Figure 11 Illustration des caractères morphologiques ostéoarticulaires pour le fémur



K



L



M

Figure 12 Illustration des caractères morphologiques ostéoarticulaires pour les articulations du genou et de la cheville

Os	Variables	Codage
Clavicule	Empreinte du ligament costo-claviculaire	Clsyn
Scapula	Os acromial bipartite	Scacrobi
Os coxal	Facettes accessoires sacrées	Cfacsacral
	Elargissement de l'articulation semi-lunaire	Cfacieslun
Fémur	Empreinte coxale	Fempcox
	Fosse d'Allen	Fallen
	Facette de Poirier	Fpoirier
	facette de Martin	Fmartin
	Facette de Charles	Fcharles
	Empreinte tibiale	Femptib
	Extension de la ligne inter condylienne	Fligneinter
Patella	Patella de Messeri	Pmesseri
Tibia	Facettes d'accroupissement latérales	Tfacilat
	Facettes d'accroupissement médiales	Tfacmed
Talus	Facettes d'accroupissement médiales	Tafacmed
	Facettes d'accroupissement latérales	Tafacilat

Tableau IV Liste et codage des caractères morphologiques ostéoarticulaires sélectionnés

Illustrations des caractères morphologiques ostéoarticulaires du membre inférieur (Figure 11 et Figure 12) :

E Facette de Poirier (marqueur) sur un col fémoral en vue antérieure (cliché A. Lambert)

F Fosse d'Allen (marqueur) sur un col fémoral en vue antérieure (cliché E. Verna)

G Facette de Martin (marqueur) sur le bord du condyle latéral d'un fémur en vue antérieure (cliché A. Lambert)

H Facette de Charles étendue du condyle médial au tubercule adducteur d'un fémur en vue postérieure (cliché A. Lambert)

I Empreinte tibiale au-dessus du condyle médial d'un fémur en vue postérieure (cliché A. Lambert)

J Extension de la ligne inter condylienne (**A**) et en absence de ce caractère (**B**) sur un fémur en vue postérieure (dessin issu de Martin 1963, p.373, fig.1)

K Patella dite de Messeri en vue antérieure. Le marqueur désigne l'incisure permettant de reconnaître le caractère (cliché A. Lambert)

L Facette latérale d'accroupissement (marqueur) sur l'épiphyse distale d'un tibia en vue antérieure (cliché A. Lambert)

M Facette latérale d'accroupissement sur un talus en vue dorsale (marqueurs).
A droite : cliché A. Lambert. A gauche : dessin issu de Singh 1959, p.544, fig.5

II.2.4 L'aspect osseux des enthèses

Liaisons du muscle à l'os, les enthèses sont les **insertions dans l'os des ligaments, tendons et capsules** (formations collagéniques) (Benjamin et Ralphs 1998, Benjamin et al. 2002, Claudepierre et Voisin 2005). Leur nombre est élevé dans le squelette et elles s'y développent de manière non préférentielle. Deux types d'enthèses existent : **fibreuse et fibrocartilagineuse**. Dans le premier cas, il s'agit des attaches sur des zones osseuses métaphysaires ou diaphysaires quand le second comprend les insertions sur les épiphyses des os longs ou petits os. Un tissu conjonctif fibreux entre la formation collagénique et l'os constitue les enthèses fibreuses. Ces dernières sont directement attachées à l'os. Les enthèses fibrocartilagineuses sont constituées de quatre zones du muscle à l'os :

- une région de tissu lamellaire de fibres de collagène séparées par des fibroblastes
- une zone fibrocartilagineuse plus ou moins épaisse de progression des fibroblastes vers des chondrocytes
- une région où le fibrocartilage se minéralise et cause l'apparition d'une ligne bleue/basophile/*tidemark*
- l'os trabéculaire.

Le développement pathologique des insertions est dénommé lésions enthésopathiques. Un remodelage osseux de l'enthèse s'effectue selon plusieurs formes : rugosité, ossification, pitting, érosion ou ostéophyte. Ces lésions sont considérées pour certaines comme étant des adaptations aux contraintes mécaniques subies par l'individu et sont incluses dans les marqueurs osseux d'activités afin de déterminer les activités pratiquées par les populations passées (Villotte 2008a). L'appréciation de l'enthésopathie dépend de l'observateur. Plusieurs systèmes de cotation ont été proposés tenant compte de la sévérité de l'atteinte à différentes échelles de cotation (Hawkey et Merbs 1995, Crubézy et al. 2002, Mariotti et al. 2004, Villotte et al. 2010).

De nombreuses études les utilisant sont parues mais sans néanmoins faire appel à des données cliniques afin d'en valider les résultats (Robb 1998, Stirland 1998, Weiss 2003a, al-Oumaoui et al. 2004, Eshed et al. 2004, Nikita et al. 2011). Les résultats ne sont pas non plus validés en faisant appel à des populations de référence dont les professions sont connues. Néanmoins, ce point n'est pas vrai pour les travaux de E. Cunha et C. Umbelino (1995) qui

ont effectué une comparaison entre le développement des enthèses et la profession des individus dans la population archéologique de référence de Coimbra (Portugal). Aucun lien significatif n'a été mis en évidence mais les données cliniques sur l'étiologie des enthèses n'ont pas été prises en compte. Comme pour les autres approches biomécaniques, leur étiologie est multifactorielle (Claudepierre et Voisin 2005) : l'âge, le sexe, les dimensions osseuses, les proportions corporelles, le régime alimentaire, le développement de pathologies (Mariotti et al. 2004, Villotte 2008a). Il faut donc tenir compte de ces différents facteurs d'influence. Les individus âgés sont plus atteints par les lésions enthésopathiques sur les deux types d'enthèses, l'âge est un facteur retiré de l'équation dans nos travaux puisque nous ne travaillons que sur des adultes jeunes et matures. De plus, des différences hormonales causent des développements distincts des lésions entre les sexes en lien avec l'âge. Par ailleurs, une longueur des os et de proportions corporelles importantes ont été mises en relation avec la présence de haut degré d'atteinte (Churchill et Morris 1998, Zumwalt et al. 2000, Weiss 2003a). Les manifestations osseuses du développement de certaines pathologies comme le DISH (Diffuse Idiopathic Skeletal Hyperostosis) peuvent laisser penser à des lésions des enthèses (Villotte 2010).

Face à ces différents points, nous avons préféré utilisé la méthode de Villotte (2008a) prenant en compte les données médicales dans la définition des enthèses et ayant été testé sur une population dont le sexe, l'âge et l'activité principale sont connus.

II.2.4.1 *Choix des enthèses et cotation*

S. Villotte (2008a) propose une séparation des enthèses en plusieurs groupes ou systèmes et un système de cotation arbitraire des remodelages pathologiques et sains (Tableau V). Le lien entre sollicitation mécanique et phénomène biologique n'est attesté que pour le premier groupe constitué d'enthèses fibrocartilagineuses.

Bien que seul le groupe 1 ait été lié à la pratique d'activités, nous avons choisi d'étudier ce dernier mais aussi les groupes 2 (enthèses fibrocartilagineuses appendiculaires) et 4 (insertions diaphysaires fibreuses) afin de pouvoir ultérieurement effectuer une comparaison entre données paléopathologiques et morphologiques.

Membres	Os	Localisation	muscle	Code	Groupe
s u p é r i e u r	Humérus	partie supéro-médiale du tubercule mineur	subscapulaire	HSC	1
	Humérus	facettes supérieure et moyenne du tubercule majeur	supra-épineux et infra-épineux	HSI	1
	Humérus	face antérieure et médiale de l'épicondyle médial	épicondyliens médiaux (origine commune)	HEM	1
	Humérus	face antérieure et latérale de l'épicondyle latéral	épicondyliens latéraux (origine commune)	HEL	1
	Humérus	lèvre antérieure du sillon intertrabéculaire	grand pectoral	HGP	4
	Humérus	tubérosité deltoïde	deltoïde	HDE	4
	Radius	moitié médiale de la tubérosité	biceps brachial	RBB	1
	Radius	partie moyenne de la face latérale	rond pronateur	RRP	4
	Ulna	partie postérieure de l'olécrane	triceps brachial	UTB	2
	Os coxal	Coxal	face postérieure de la tubérosité ischiatique	semi-membraneux et biceps fémoraux	CSB
i n f é r i e u r	Fémur	face antérieure du grand trochanter	petit fessier	FPF	1
	Fémur	face latérale du grand trochanter	moyen fessier	FMF	1
	Fémur	sommet du petit trochanter	ilio-psoas	FP	1
	Fémur	tiers moyens de la lèvre médiale de la ligne âpre	vaste médial, grand adducteur et long adducteur	FLA	4
	Fémur	tubérosité glutéale	grand fessier	FGF	4
	Patella	moitié antérieure de la base et face antérieure	quadriceps fémoral	PQF	2
	Tibia	moitié inférieure de la ligne oblique	soléaire	TSO	4
Calcanéum	moitié inférieure de la face postérieure	triceps sural	CTS	2	

Tableau V Description des lésions enthésopathiques retenues selon S. Villotte (2008a)

Bien que les cotations en stade afin d'appréhender le degré de sévérité aient eu lieu selon les instructions de S. Villotte (2008a), nous avons choisi de transformer les stades en données binomiales (présence/absence) afin de faciliter le traitement statistique. Pour une revue complète de la localisation et illustration de ces enthèses, voir Villotte (2008a).

II.2.4.2 Analyses statistiques pour le traitement des enthèses

Au vu des disproportions entre échantillons, l'analyse intra-site ne sera effectuée que pour la série de l'hypogée des Boileau. L'analyse s'intéressera à la fréquence d'apparition suivant le sexe, la localisation anatomique et la latéralité ainsi que selon le groupe de classification. Des comparaisons inter échantillons ont par la suite été réalisées par des ACM.

Les fréquences ont été obtenues à partir du nombre d'individus pour lesquels les enthèses ont été observables. Afin de percevoir des différences significatives lors des comparaisons, le test exact de Fisher a été effectué avec un seuil de significativité statistique à 5%.

II.2.5 Les propriétés géométriques des sections transverses

La géométrie de section permet d'estimer la **capacité de l'os long à résister à des forces en mesurant les propriétés géométriques sur les sections transverses de la diaphyse** (Trinkaus et al. 1994, Lieberman et al. 2004, Ruff 2008). Cette approche dans le cas du squelette post-crânien permet notamment l'étude de la locomotion, de l'asymétrie des membres et du dimorphisme sexuel biomécanique des populations du Pléistocène à la fin de la Préhistoire afin de déterminer les comportements homininés (Ruff et Hayes 1983, Ruff et al. 1984, Bridges 1989, Trinkaus et al. 1994, Trinkaus et Churchill 1999, Holt 2003, Marchi et al. 2006, Sládek et al. 2006, Sládek et al. 2007, Holt et Formicola 2008, Marchi 2008, Ruff 2008).

Dans le modèle biomécanique, l'assimilation de l'os à une structure tubulaire permet l'application de lois d'ingénierie afin d'en extraire les propriétés géométriques de section (Ruff et Hayes 1983, Lieberman et al. 2004). Ces propriétés témoignent des forces de compression, cisaillement, tension, flexion et torsion qui affectent les os longs selon leur amplitude et leur fréquence. **Les variations structurales du tissu osseux dérivent de ces sollicitations d'après un modèle simplifié** cf I.2.1 (Lanyon et Rubin 1984, Rubin et al. 1990, Lanyon 1992, Martin et al. 1998). Des sections sont donc sélectionnées afin de déterminer les caractéristiques des sollicitations (orientation et magnitude) le long de la diaphyse (Lieberman et al. 2004).

L'étude des sections peut être réalisée par la reconstruction par moulage des contours externes de l'os et/ou radiographies biplanaires pour reconstruire et estimer la morphologie de la cavité médullaire (Stock 2002, O'Neill et Ruff 2004, Stock et Shaw 2007b). T. Davies et collaborateurs (2012) proposent l'utilisation du scanner surfacique afin d'analyser les propriétés géométriques de sections transverses. Un programme créé spécialement, AsciiSection, analyse les propriétés biomécaniques à partir des coordonnées 3D. Cette technique est jugée équivalente à celles des moulages par les auteurs. Cependant, et de plus en plus, les propriétés géométriques de section des os longs sont acquises par **tomo ou microtomographie** (CT-scan/ μ CT) (Ruff 1999, Ruff 2002, O'Neill et Ruff 2004, Sládek et al. 2006, Perréard Lopreno 2007, Sládek et al. 2010, Puymérail et al. 2012). Des études comparatives ont montré la correspondance entre les résultats des méthodes par moulage des

contours externes de l'os et/ou radiographies biplanaires et par tomo ou microtomographie (Stock 2002, O'Neill et Ruff 2004).

L'imagerie virtuelle (tomo ou microtomographie) permet un **accès non-invasif** à l'endostructure osseuse ou à la morphologie en trois dimensions de l'anatomie interne des objets scannés et est donc un atout majeur en matière de conservation. Suite à une unique manipulation physique lors de l'acquisition 3D de l'objet, il est virtuellement possible de manier, reconstruire et extraire des informations caractéristiques de manière précise sans plus de risques taphonomiques pour l'objet. Même dans le cas d'analyse d'ossements sédimentés, elle permet quand même de reconstruire les contours réels de la cavité médullaire (Puymeraïl et al. 2012). Enfin, les prises de mesure sont plus aisées puisque par exemple la localisation des points projetés est plus facile virtuellement. L'imagerie virtuelle dépend néanmoins de la qualité du scan, de la capacité d'accès à un appareil et des contraintes budgétaires engendrées par cette méthode (Stock et Shaw 2007).

II.2.5.1 *Collecte des données par tomographie médicale*

La tomographie médicale permet d'obtenir à la fois les **contours internes et externes** de l'os grâce à une émission de rayons X. Les ossements ont été tomographiés à l'aide d'un scanner modèle Somatom Sensation Cardiac 64 (Siemens®, Erlangen, Allemagne), de type **hélicoïdal à 64 détecteurs** du Service d'Imagerie Médicale, hôpital Nord - CHU Marseille (chef de Service Pr Panuel) visible à la figure 13.

Chaque os est scanné selon une orientation standardisée respectant les plans antéro-postérieur (A-P) et médio-latéral (M-L) anatomiques (Ruff 2002). Les repères lasers du scanner permettaient de positionner les os sur la planche. Les os d'un individu étaient scannés en lot selon leur localisation (membres supérieurs/inférieurs) sans que cela ne détériore le rendu au vu de la résolution. Dans ce type de scanner, l'émetteur de rayon X et les récepteurs mesurant l'intensité des rayons tournent en même temps autour du plateau horizontal se déplaçant à une vitesse fixe dans l'anneau.

L'émission des rayons et l'acquisition sont continues. Les rayons X sont atténués par effet d'absorption et de diffusion selon la densité de l'objet scanné, de sa composition et de l'énergie des rayons. Suite à **une acquisition à 120Kv et à 315 mA**, le processus de reconstruction permet d'obtenir une série de coupes de l'os en deux dimensions de **0.6 mm d'épaisseur et d'une résolution de 512×512 pixels**, à **reconstruction chevauchée tous les 0.3 mm** pour une plus grande précision en **format DICOM**. L'avantage de ce dernier est qu'il est standard et qu'il contient toutes les informations techniques de l'examen et les informations individuelles précisées. Sur les coupes obtenues, les variations de densité osseuse sont représentées par diverses valeurs de gris selon l'échelle de Hounsfield.



Figure 13 Acquisition des images par CT scan : les os sont disposés selon une orientation standardisée respectant les plans antéro-postérieur (A-P) et médio-latéral (M-L).
Cliché A. Lambert

Une fois les ossements scannés, une reconstruction en trois dimensions par le logiciel **Amira 5.3** (© 2010 Visage Imaging®, Inc.) est effectuée de manière à visualiser les différents ossements en vue de les séparer dans des fichiers différents pour faciliter le traitement des données. Les différentes intensités des pixels des coupes bidimensionnelles vont permettre au logiciel de différencier les os, l'air, les cales et le plateau sur lequel étaient posés les os. Une fois ceci effectué, nous avons séparé et enregistré chaque ossement dans un fichier distinct indiquant son identité (**nom du fichier : site-individu-os-latéralité**).

Dans certains cas, suite à un problème lors de l'enregistrement des données par l'ordinateur du scanner, un lot d'ossement pouvait être divisé en deux lots d'images comme par exemple un premier lot d'images de l'extrémité proximale jusqu'à la fin de la diaphyse et le second lot de la fin de la diaphyse à l'extrémité distale. Nous avons alors utilisé l'outil « **Merge** » du logiciel Amira afin de rattacher les lots d'images et reconstruire le volume entier.

II.2.5.2 *Choix des ossements et localisation des sections*

Afin de pouvoir étudier les modes de locomotion et les effets des activités pratiquées sur le membre inférieur, nous avons sélectionné **le fémur et le tibia**. G. Perréard Lopreno (2007) a montré qu'il existe une grande variation de la répartition corticale le long du membre supérieur selon les activités pratiquées et que la section à mi-diaphyse humérale n'est pas la plus liée à la pratique d'activités intenses. Nous avons donc choisi d'étudier conjointement **l'humérus, le radius et l'ulna**.

Cinq sections transverses apportent suffisamment d'information concernant les variations des propriétés le long de la diaphyse afin de déterminer les mouvements effectués (Lovejoy et al. 1976, Ruff et Runestad 1992). Cependant d'autres études montrent que l'analyse des propriétés tout le long de la diaphyse apporte des données plus fines (Rhodes et Knüsel 2005, Puymérail et al. 2012). Nous avons cependant estimé que **cinq sections diaphysaires** seraient suffisantes pour chaque ossement afin de pouvoir comparer nos données aux études actuelles utilisant la géométrie de section dont certaines sur le Néolithique européen (Marchi et al. 2006, Sládek et al. 2006, Sládek et al. 2007, Marchi 2008). A noter que V. Sládek et collaborateurs (2010) indiquent que la localisation précise des sections de la mi-diaphyse fémorale n'a que peu d'influence sur les propriétés géométriques mesurées.

La longueur biomécanique débute en partie distale de l'os (0%) et se termine en partie proximale (100%) comme on peut le voir sur la Figure 14. Cette dernière visualise aussi les sections d'intérêt situées à **20, 35, 50, 65 et 80%** de la longueur biomécanique en partant de la partie distale et ayant une définition propre pour chaque os (Ruff 2002):

- **Humérus (A, Figure 14)** : s'étend suivant l'axe longitudinal, du point le plus proximal de la tête humérale au plus distal du capitulum (longueur biomécanique)
- **Radius (B, Figure 14)** : s'étend du point le plus proximal de la tête radiale au point de jonction entre la diaphyse à la partie proximale de la surface articulaire distale suivant l'axe longitudinal (longueur physiologique)
- **Ulna (C, Figure 14)** : s'étend du sigmoïde à la partie proximale de la surface articulaire distale d'après l'axe longitudinal (longueur physiologique)
- **Fémur (D, Figure 14)** : s'étire d'après l'axe longitudinal de la tangente inférieure des condyles au point le plus profond (distal) du col fémoral (longueur biomécanique)

- **Tibia (E, Figure 14)** : s'étire suivant l'axe longitudinal du milieu du diamètre antéro-postérieur de l'articulation proximale à la partie proximale de la surface articulaire distale (longueur physiologique)

Pour chacun la détermination virtuelle de la longueur biomécanique ou physiologique s'est effectuée par la pose de points de repère sur des coupes bidimensionnelles aux extrémités de la longueur biomécanique/physiologique grâce à l'outil « **Slice** ». Deux coupes 2D sont positionnées au niveau des extrémités de la longueur biomécanique/physiologique et un point de repère est ensuite posé à l'endroit convenu pour chaque os. Concernant les points projetés, comme dans le cas du fémur pour le point médian de la projection de la surface distale des condyles, une coupe en deux dimensions est orientée par l'outil « **ObliqueSlice** » afin de toucher la surface distale des deux condyles. Ensuite un point de repère est posé sur cette coupe entre les condyles. Dans tous les cas de figure, l'outil « **Mesure3D** » nous permet alors de mesurer la distance entre les deux coupes délimitant la longueur biomécanique/physiologique.

Dans le cas des ossements incomplets, l'extrémité manquante de la longueur biomécanique est déterminée à partir de celle conservée (cf II.2.6 Estimation de la longueur biomécanique des os incomplets).

Une fois la longueur biomécanique de l'os déterminée, nous calculons les longueurs correspondantes à 20, 35, 50,65 et 80% de la longueur biomécanique à partir de la partie distale de la diaphyse. Ensuite, nous positionnons alors les différentes coupes en nous servant de l'outil « **Slice** » et « **Mesure2D** » dans le logiciel Amira en mesurant la distance entre la coupe à 0% et celle au pourcentage voulu de la longueur biomécanique. Le numéro correspondant à la section d'intérêt est alors relevé et nous extrayons le fichier DICOM lui correspondant du fichier. Toutes ces opérations sont effectuées pour chaque coupe et chaque os.

Les sections extraites, il est nécessaire d'identifier plus précisément les différentes composantes de l'os afin d'isoler la composante corticale par la technique de seuillage. Pour cela, nous avons appliqué le principe du « Half Maximum Height » (HMH) (Spoor et al. 1993) grâce au logiciel **ImageJ 1.42** (Schneider et al. 2012) avec lequel nous avons mesuré la valeur moyenne des valeurs maximale et minimale de l'interface os-air sur plusieurs coupes (Fajardo et al. 2002). Cette moyenne désigne donc la transition entre deux composantes distinctes de l'image. La plupart des ossements comprenant un jeu d'environ **1000 images**

DICOM, nous avons calculé pour chaque os cette moyenne toutes les **250 images** en réalisant un histogramme de l'intensité des pixels suivant un trait traversant l'air-l'os compact-l'os trabéculaire. Enfin, la moyenne de toutes ces moyennes constitue la valeur du seuillage spécifique à chaque os.

Les images ont dû être converties en **256 niveaux de gris** (8 bits) par le logiciel ImageJ 1.42. Les matériaux les plus denses (grande absorption rayon X) prennent une valeur de 255 et ceux n'ayant absorbé aucun rayon X ont une valeur de 0. L'os compact a donc une coloration blanche là où il est le plus dense et l'air est noir.

II.2.5.3 *Définition et standardisation des propriétés géométriques de section*

L'extraction des propriétés géométriques de section s'est effectuée grâce au logiciel Image J v.1.41 avec **Moment Macro** mise à disposition par C.B. Ruff (www.hopkinsmedicine.org/fae/MMacro.htm). Elle permet d'automatiser l'extraction. Elle ne nécessite que la valeur du seuillage et une orientation correcte des images selon les plans antéro-postérieur et médio-latéral.

Les coupes 2D DICOM sont alors transformées en images en 8 bits. L'os trabéculaire et autres imperfections ne correspondant pas à l'os cortical sont retirés manuellement grâce à des outils de retouche présents dans le logiciel pour chaque section. La valeur du seuillage permet ensuite de sélectionner l'os compact une première fois de manière semi-automatique. Après une vérification manuelle de la sélection et l'élimination des derniers pixels d'os trabéculaire ou d'air, la macro peut être lancée pour calculer les propriétés géométriques après qu'on ait renseigné l'échelle pour chaque section (mm/pixels).

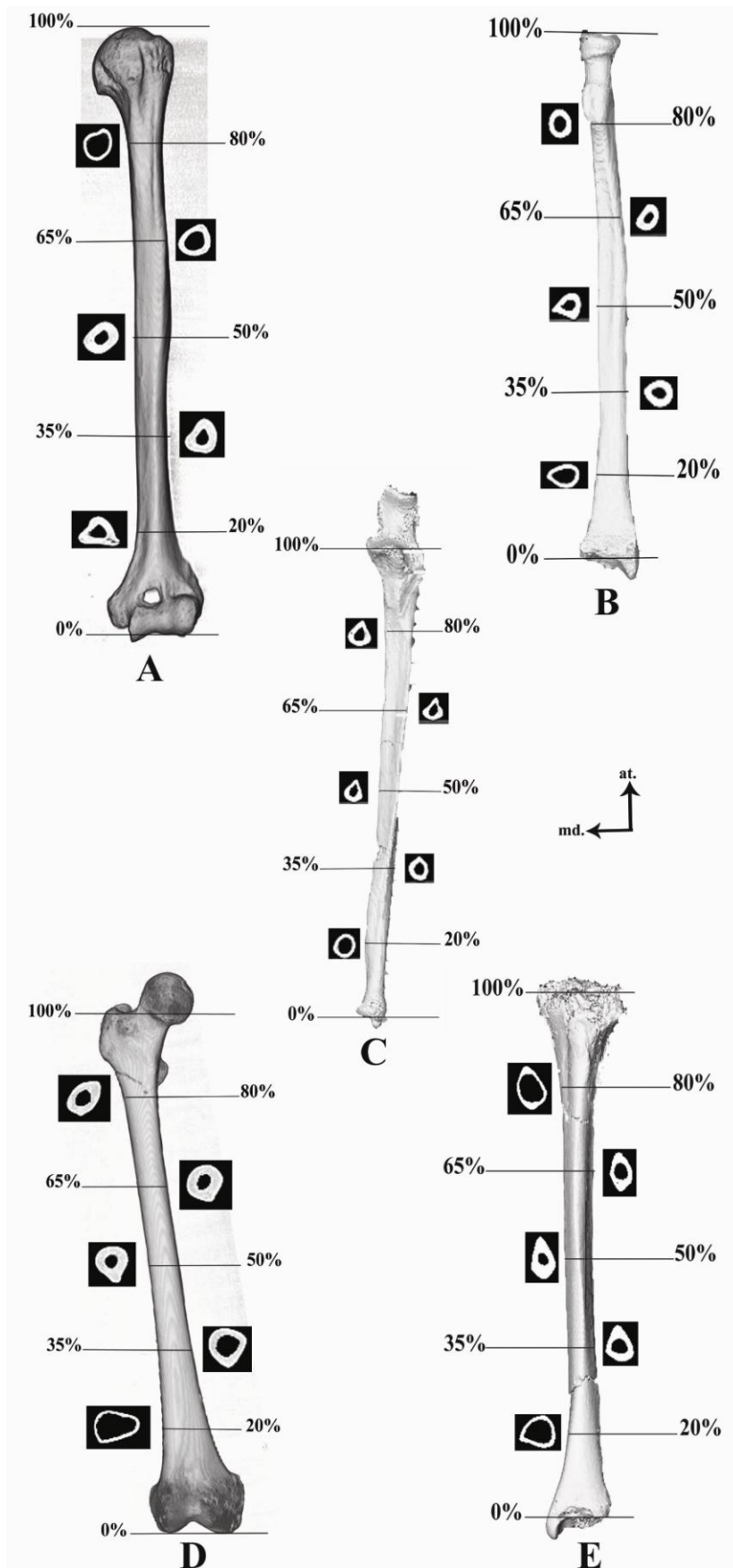


Figure 14 Localisation et visualisation des sections transverses retenues sur chaque os. At. : antérieur, md. : médial.

Les propriétés géométriques (Figure 15) sont les suivantes (Ruff 2008) :

- **l'Aire Totale (AT)** : surface totale de la section transverse proportionnelle aux forces axiales de compression et de tension
- **l'Aire Médullaire (AM)** : la cavité médullaire contient la moelle jaune au centre de la diaphyse et est entourée d'un cylindre épais d'os compact
- **l'Aire Corticale (AC)** : quantité d'os cortical de la section transverse proportionnelle aux forces axiales de compression et de tension
- **La variation de l'épaisseur corticale par rapport à la surface totale (%AC)** dont le calcul est $(AC/AT) \times 100$. Elle est relative à la compression et à la rigidité de la diaphyse
- **Les seconds moments de l'aire** (moments quadratiques ou d'inertie) I_x et I_y sont la résultante de la résistance à la flexion par rapport aux plans antéro-postérieur (I_x) et médio-latéral (I_y)
- **Les seconds moments I_{max} et I_{min}** , sans lien avec l'orientation de la diaphyse, définissent l'amplitude de la plus grande et de la plus faible résistance de la section à la flexion
- **Le moment quadratique (ou inertie) polaire J** est la somme de I_x et I_y . Il est proportionnel, à la fois à la résistance moyenne à la flexion, mais aussi à celle de la torsion, exprimant ainsi la rigidité de l'os et les forces générales appliquées à la section de l'os. Cependant si la section s'éloigne de la circularité, son estimation devient moins précise. Dans de nombreuses études, il est utilisé afin de qualifier la robustesse générale
- **Le ratio de conformation diaphysaire I_x/I_y** exprime la conformation de la section dans les plans x et y, c'est-à-dire l'orientation préférentielle médio-latérale ou antéro-postérieure des contraintes subies. Le ratio I_x/I_y est perçu comme un indicateur de la mobilité selon l'axe de prédominance des contraintes (antéro-postérieures ou médio-latérales)
- **Le ratio de conformation diaphysaire I_{max}/I_{min}** décrit la répartition de l'os cortical de la section transverse et indique la résistance relative à la flexion dans deux plans

Afin d'éliminer l'influence des facteurs corporels et ne conserver que la part des activités physiques (Ruff 1999), les propriétés de section ont été standardisées. En effet, les dimensions corporelles correspondent à une charge mécanique. Elles sont le reflet de la résistance du squelette à la gravité et sont liées à d'autres facteurs influençant les contraintes mécaniques comme les dimensions musculaires.

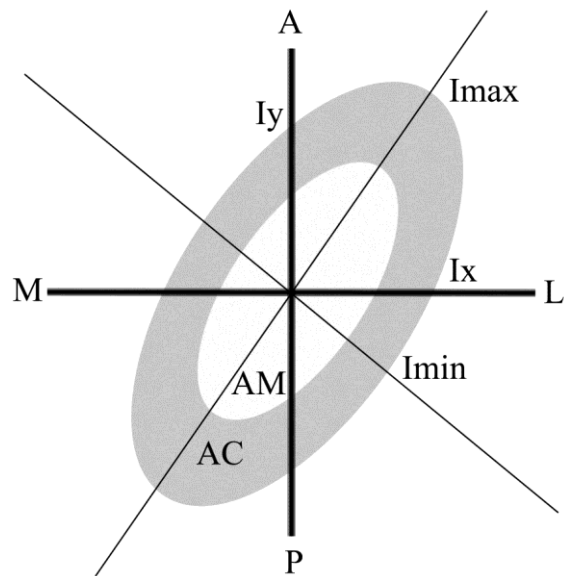


Figure 15 Schéma des propriétés géométriques de sections transverses. Les abréviations sont

Il existe deux types méthodes afin d'estimer la masse corporelle: morphométrique et mécanique. La première est celle basée sur l'estimation de la stature à partir de la largeur bi-iliaque et la seconde sur les dimensions articulaires. Les résultats des deux approches sont similaires (Auerbach et Ruff 2004). Le choix a été fait d'utiliser la méthode basée sur les équations des dimensions articulaires proximales du fémur proposées par Ruff et collaborateurs (2012). En effet, d'après l'état de conservation des séries ostéoarchéologiques, il n'était pas possible de reconstituer la largeur bi-iliaque des sujets. La formule pour les hommes est **Masse Corporelle = (2.8 × diamètre sagittal de la tête fémorale – 66.7)** et les femmes **Masse Corporelle = (2.18 × diamètre sagittal de la tête fémorale – 35.81)**.

Chacune des propriétés géométriques est ensuite ramenée à la masse corporelle. L'aire totale et l'aire corticale sont directement proportionnelles à la masse corporelle (Ruff et al. 1993). Leurs standardisations s'effectuent donc par **leur rapport à cette dernière**. Les moments quadratiques sont transformés par la formule $[X/(MC \times Lb^2)]$, où **X** représente la valeur individuelle d'un moment quadratique et **Lb** la longueur biomécanique de l'os. En effet, dans le cas d'une contrainte de type flexion, l'amplitude de cette dernière est relative à la longueur de l'objet sur lequel elle s'applique (Ruff 1999, Allard et Blanchi 2000).

II.2.5.4 *Traitement statistique des propriétés géométriques de section*

L'analyse intra-site n'a été effectuée que pour la série ostéologique de l'hypogée des Boileau. Les différences sexuelles des propriétés géométriques (dimensions et conformations) et l'asymétrie bilatérale et son dimorphisme sont analysées par des tests de Mann-Whitney avec une correction de type FDR (False Discovery Rate) moins conservatrice qu'une correction de Bonferroni (Benjamini et Hochberg 1995). Le seuil de significativité statistique a été fixé à 5%. Afin de comparer de manière visuelle les paramètres et d'identifier les individus atypiques, des boîtes à moustache de Tukey sont utilisées. Par ailleurs, le pourcentage de dimorphisme sexuel biomécanique est calculé pour chaque paramètre selon la formule $[(\text{homme} - \text{femme})/\text{femme}] \times 100$.

II.2.6 **Estimation de la longueur biomécanique des os longs incomplets**

Cette partie a été motivée par les besoins engendrés par les propriétés géométriques de sections transverses. Comme expliqué *infra* (cf II.2.5.2), cette approche nécessite la mesure de la longueur biomécanique de l'os et la préservation d'au moins une des deux épiphyses afin de localiser les sections le long de la diaphyse. Ce problème peut être contourné si l'os n'est pas complet en localisant approximativement les sections sur la diaphyse grâce à des points de repère (Ruff et al. 1999). V. Sládek et collaborateurs (2010) ont mis en évidence que la localisation précise des sections fémorales n'a qu'un faible impact sur les données issues de la géométrie de section.

Cependant, nos travaux portent sur différents ossements et ces derniers sont le plus souvent incomplets ou recouverts d'une gangue minérale. Il nous a donc semblé plus judicieux d'estimer pour chaque type d'ossement la longueur biomécanique afin d'augmenter notre corpus plutôt qu'écarter certains individus ou de prendre le risque d'approximer la localisation des sections.

L'estimation de la longueur totale des ossements est surtout utilisée de manière à reconstituer la stature en médecine légale ou en anthropologie (Steele et McKern 1969, Simmons et al. 1990, Holland 1992, Jacobs 1992, Wright et Vasquez 2003). D. Steele et T.

McKern (1969) ont proposé des points de repère sur l'humérus, le fémur et le tibia délimitant des segments osseux. A partir de ces derniers et en les croisant, ils ont généré des équations de régression afin d'estimer la longueur totale de l'os. Néanmoins, plusieurs travaux ont critiqué cette démarche en dénonçant la difficulté de localiser plusieurs des points de repère. Afin notamment d'y parer, plusieurs études comme T. Simmons et collaborateurs (1990) et T. Holland (1992) ont préféré utiliser des mesures transverses des épiphyses. Au vu de leur faible préservation, nous n'avons pas retenu cette approche. K. Jacobs (1992) choisit d'appliquer les équations de D. Steele et T. McKern (1969) à des populations préhistoriques européennes. Il montre une variation inter populationnelle de la longueur des segments osseux et que les équations ont tendance à surestimer la longueur de l'os. Cela serait dû à des différences entre les activités des populations étudiées et celle de référence. Par ailleurs, en calculant des équations de régression pour la population étudiée, il note une corrélation entre les segments osseux et la longueur de l'os. L'approche est donc correcte mais il est nécessaire de réaliser des équations de régression propres à notre population d'étude.

II.2.6.1 *Choix du corpus et protocole*

Le sexe influant sur le développement osseux (Carter et Beaupré 2001), les équations de régression seront **sexe-dépendantes** et effectuées pour **l'humérus, le radius, l'ulna, le fémur et le tibia** présentant au moins une épiphyse. Les individus sélectionnés proviennent des **quatre populations** étudiées mais tous les individus ne possèdent pas les cinq ossements. Ainsi, des sous-échantillons ont été créés afin que pour chaque os, un effectif de **60 individus** soit atteint (30 femmes et 30 hommes). Cependant, pour des raisons taphonomiques, cela n'a pas été possible pour l'humérus (24 femmes et 24 hommes).

Les points de repère utilisés reprennent ceux de D. Steele et T. McKern (1969) et de L. Wright et M. Vásquez (2003). Nous avons rajouté à ceux-ci les points de repères nécessaires à l'estimation de la longueur biomécanique pour chaque ossement et sélectionné ceux de l'ulna et du radius en reprenant le même type de point que les autres ossements. La définition des points de repères et les planches illustratives sont présentées *infra* (Figure 16 et Tableau VI).

Nous avons ensuite vérifié la précision et la fiabilité de ces équations en confrontant les longueurs biomécaniques estimées à celles mesurées. L'échantillon de validation est

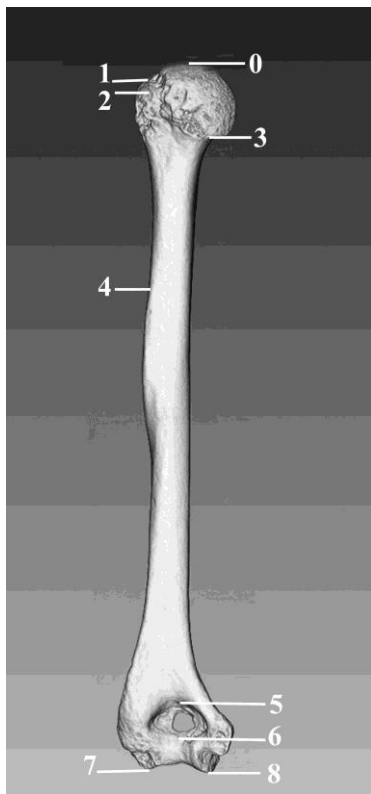
composé d'individus issus de nos séries ostéologiques et d'ensembles funéraires collectifs régionaux et contemporains : **la grotte de la Madeleine** (Bédouin, Vaucluse) et de **Sanguinouse** (La Roque-Sur-Perne, Vaucluse). Cet échantillon doit comprendre un tiers de l'effectif de détermination, soit **20 individus** (10 hommes et 10 femmes) pour chaque os.

Point de repère	Description
Humérus	
0	Point proximal de la tête humérale
1	Point proximal du tubercule majeur
2	Point proximal du tubercule mineur
3	Point distal de la tête fémorale
4	Point le plus latéro-proximal de la tubérosité deltoïde
5	Extrémité proximale de la fosse oléocranienne
6	Extrémité distale de la fosse oléocranienne
7	Extrémité distale du capitulum
Radius	
0	Point proximal de la tête radiale
1	Point distal de la tête radiale
2	Point proximal de la tubérosité radiale
3	Point distal de la tubérosité radiale
4	Insertion du muscle brachio-radial
5	Extrémité proximale la surface articulaire distale
Ulna	
0	Point proximal de la tête ulnaire
1	Point proximal du processus coronoïde
2	Point distal de l'encoche radiale
3	Foramen nourricier
4	Saillie du muscle carré pronateur
5	Extrémité proximale de la surface articulaire distale
Fémur	
0	Point proximal de la tête fémorale
1	Point proximal du grand trochanter
2	Point le plus profond du col fémoral
3	Point latéral au milieu du petit trochanter
4	Point de divergence des lignes intercondyliennes médiale et latérale
5	Point proximal de la ligne intercondylienne
6	Point le plus distal du condyle médiale
7	Milieu de la tangente inférieure des condyles
Tibia	
0	Point proximal du plateau tibial latéral
1	Point proximal de la tubérosité tibiale
2	Intersection de la crête antérieure avec l'axe central du tibia
3	Foramen nourricier (face postérieure)
4	Passage de la crête antérieure du côté médial
5	Extrémité proximale de la surface articulaire distale
6	Extrémité distale de la malléole

Tableau VI Description des points de repères, sur chaque os, utilisés pour l'estimation de la longueur biomécanique ou physiologique des os incomplets

La longueur biomécanique/physiologique correspond pour chaque os à la distance entre les points de repère (Figure 16) :

- **A** Humérus en vue antérieure, longueur biomécanique = H0_7
- **B** Radius en vue antérieure, longueur biomécanique = R0_5
- **C** Ulna en vue antérieure, longueur biomécanique = U1_5
- **D** Fémur en vue postérieure, longueur biomécanique = F2_7
- **E** Tibia en vue antérieure, longueur biomécanique = T0_5



A



B



C



D



E

Figure 16 Localisation des points de repères, sur chaque os, utilisés pour l'estimation de la longueur biomécanique ou physiologique des os incomplets

II.2.6.2 *La régression linéaire simple*

Nous avons choisi de suivre une approche par régression linéaire simple afin de contourner les problèmes de préservation des os.

Soit une variable Y que nous souhaitons prédire ou dépendante et X une variable dont elle dépend dite indépendante. La régression linéaire simple permet de générer une équation décrivant la relation mathématique entre ces deux variables.

Nous avons choisi de régresser la longueur biomécanique de l'os (Y) par rapport à la longueur d'un segment osseux (X), considérant que la longueur de l'os est le produit de celle du segment. La longueur du segment est définie par la distance entre deux points de repère situés le long de la diaphyse. Malgré une mauvaise préservation entraînant une disparition de certains points, il sera donc toujours possible d'estimer la longueur biomécanique par régression linéaire simple.

Les diagrammes de dispersion réalisés permettent d'observer graphiquement la relation entre les deux variables et la forme du nuage de point détermine le type d'équation de régression en déterminant la meilleure droite qui minimise la somme des carrés des distances verticales des points observés à la droite. La distance entre la droite de régression et chaque point est le résidu, soit l'écart constaté entre le modèle et l'observation. La forme du nuage permet aussi de percevoir la corrélation entre ces variables et de repérer les individus atypiques s'éloignant de la variabilité des données. Les valeurs de ces sujets sont toujours vérifiées et corrigées afin de contrôler s'il s'agit d'erreurs de saisie.

A partir des diagrammes de dispersion, nous pouvons observer les allures des nuages de points. D'après ces dernières, nous pouvons utiliser des régressions linéaires où la longueur biomécanique (Y) sera prédite par la longueur de segment (X) :

$$\text{Soit } Y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$$

β_0 : coefficient de régression (pente de la droite) d'une régression linéaire simple

β_1 : ordonnée à l'origine d'une régression linéaire simple

$\beta_0 + \beta_1 x$: modèle de la droite

ε : erreur aléatoire

A chaque équation est lié un intervalle de prédiction à 95% afin de déterminer l'exactitude de la longueur biomécanique. Cet intervalle s'attache à tenir compte des variations de position de la droite de régression et de la position des points autour d'elle en conséquence. La formule dans le cas de régression linéaire simple selon G. Saporta (2006) est :

$$IC(Y/X = x_0) = \tilde{a} + \tilde{b} x_0 \pm t_{\alpha/2} s_e \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{S_{xx}}}$$

x_0 : valeur de x

\tilde{a} et \tilde{b} : estimateurs des moindres carrés

$t_{\alpha/2} : P(T_{n-2} > t_{\alpha/2}) = \frac{\alpha}{2}$ (T suit une loi de Student à n-2 degrés de liberté)

s_e : écart-type résiduel

n : nombre d'observations

\bar{x} : moyenne des différentes valeurs de x

S_{xx} : somme des carrés de x

Enfin, le coefficient de détermination (r^2) permet de juger de la fiabilité de l'équation car il représente la variance totale expliquée. Il est égal au carré du coefficient de corrélation linéaire de Pearson et est compris entre 0 et 1. Plus il est proche de 1, plus la corrélation linéaire entre la longueur biomécanique et le segment osseux est importante.

Nos estimations doivent être confrontées à la réalité. Nous comparons plusieurs modèles à une série d'observations (longueur biomécanique réelle de l'échantillon de validation). Les indicateurs sélectionnés sont :

- l'erreur-type (RMSE) : la racine carrée de la moyenne des carrés des écarts entre les estimations et les observations
- l'erreur absolue moyenne (MAE) : la moyenne des valeurs absolues des écarts.

Les formules correspondantes sont les suivantes :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (valeurs\ estimées - valeurs\ mesurées)^2}{n}}$$

$$MAE = \frac{\sum |valeurs\ estimées - valeurs\ mesurées|}{n}$$

n : nombres d'observations

II.2.6.3 *Equations de régressions pour le calcul de la longueur biomécanique d'humérus et fémurs incomplets*

Le tableau en Annexe I indique pour chaque segment osseux la corrélation à la longueur biomécanique de l'os selon le sexe. Environ la moitié des corrélations est supérieure à 0,7 et celles-ci sont plus importantes chez les femmes que chez les hommes. Même des corrélations moyennes (autour de 0,5) sont significatives. On remarque que les corrélations négatives concernent des segments définis aux extrémités des os.

Dans un cas, la longueur du segment osseux est constante ; la corrélation entre le segment H7_8 (cf Annexe I) et la longueur biomécanique de l'humérus n'a pas pu être calculée. Ce segment est d'ailleurs l'un des plus petits sélectionnés. Au regard de la longueur des segments, plus ils sont longs, meilleure semble être la corrélation. On remarque que les segments définis par deux points de type foramen nourricier ou insertion musculaire ont une corrélation plus faible de manière générale.

Un total de 218 équations de régression a été généré, soit 109 pour chaque sexe. Les équations possédant des coefficients de régression inférieur à 0,6 et dont l'erreur standard de l'estimation est supérieure à 25 mm ont été écartées. Un total de 77 équations correspondant à nos critères a été retenu. Cependant, afin d'être certain que la longueur estimée soit la plus précise et fiable possible, nous n'avons utilisé que les équations dont le coefficient de détermination $r^2 > 0,8$. Ce point n'a posé problème qu'au niveau des équations du tibia chez les hommes ($r^2 = 0,674$ et $0,665$). Toutes les équations sélectionnées possèdent des valeurs de F significatives ($< 0,001$). On remarque que les segments localisés de manière proche sur l'os génèrent des équations dont les corrélations sont quasi-semblables. De plus, on a vu que les segments définis par des points tels que des foramens nourriciers ou des insertions musculaires pouvaient être corrélés à la longueur biomécanique/physiologique. Les équations dérivant de ces

segments ne sont pas assez précises pour estimer la longueur biomécanique/physiologique, la préférence allant aux points proches des articulations.

Les équations sont les plus nombreuses chez les femmes (45) et concernent tous les os longs. Un total de 32 équations a été généré chez les hommes entre l'humérus, l'ulna, le fémur et le tibia. Chez les deux sexes, l'humérus puis le fémur sont les os pour lesquels les équations sont les plus corrélées à la longueur biomécanique/physiologique. A l'inverse, en exceptant le radius chez les hommes, le tibia puis l'ulna sont les os pour lesquels les équations sont les moins corrélées à la longueur biomécanique/physiologique.

Pour le membre supérieur, l'erreur standard de l'estimation est faible, entre 2 et 13,2 mm. Elle est cependant plus élevée de manière générale chez l'homme. Cette erreur est plus importante pour le membre inférieur, entre 1,5 et 16,7 mm.

Nous ne présentons ici que les équations de régression utilisées pour l'humérus et le fémur, puisque ce sont celles qui seront appliquées dans nos travaux (Tableau VII). Pour les autres os, il n'a pas été nécessaire d'utiliser les équations de régression pour obtenir la longueur biomécanique/physiologique. La totalité des équations de régression sont présentées en annexe (cf Annexe II).

Femme					Homme						
	r ²	Equation de régression	F	Signification du test statistique	Erreur standard de l'estimation		r ²	Equation de régression	F	Signification du test statistique	Erreur standard de l'estimation
Humérus						Humérus					
H0_5	0,964	11,141+Lsx1,067	556,9	0,000	3,12	H0_5	0,979	8,885+Lsx1,077	1036,4	0,000	3
H0_6	0,98	2,388+Lsx1,033	1034,1	0,000	2,31	H0_6	0,979	5,494+Lsx1,024	1028	0,000	3
H1_5	0,94	6,692+Lsx1,104	328,332	0,000	4,02	H1_5	0,966	5,935+Lsx1,105	625,1	0,000	3,9
H1_6	0,969	-4,803+Lsx1,079	649,800	0,000	2,9	H1_6	0,918	21,592+Lsx0,986	245,4	0,000	6,1
H1_7	0,972	-14,584+Lsx1,070	724,900	0,000	2,75	H2_5	0,856	8,009+Lsx1,145	130,6	0,000	8,1
H1_8	0,972	-17,795+Lsx1,070	724,900	0,000	2,75	H2_6	0,88	-7+Lsx1,126	160,8	0,000	7,4
H2_5	0,885	38,547+Lsx1,015	161,7	0,000	5,5	H2_7	0,867	18,672+Lsx0,982	143,2	0,000	7,7
H2_6	0,912	31,370+Lsx0,974	217,6	0,000	4,86	H2_8	0,867	15,725+Lsx0,982	143,3	0,000	7,7
H2_7	0,923	23,787+Lsx0,963	253,1	0,000	4,5	H3_5	0,944	36,484+Lsx1,133	370,8	0,000	5
H2_8	0,923	20,899+Lsx0,963	253,1	0,000	4,5	H3_6	0,97	23,134+Lsx1,106	714,8	0,000	3,69
H3_5	0,932	27,792+Lsx1,162	286,34	0,000	4,28	H3_7	0,978	18,093+Lsx1,070	993,9	0,000	3,14
H3_6	0,942	23,076+Lsx1,098	388,4	0,000	3,7	H3_8	0,978	14,882+Lsx1,070	993,9	0,000	3,14
H3_7	0,946	15,987+Lsx1,081	409,334	0,000	3,6	H4_6	0,609	150,884+Lsx0,783	34,2	0,000	13,3
H3_8	0,951	12,743+Lsx1,081	409,334	0,000	3,6	H4_7	0,617	143,592+Lsx0,767	35,4	0,000	13,2
						H4_8	0,617	141,291+Lsx0,767	35,4	0,000	13,2
Fémur						Fémur					
F0_5	0,905	9,913+Lsx0,980	295	0,000	7,71	F0_5	0,917	9,342+Lsx0,992	307,9	0,000	7,8
F0_6	0,952	-17,601+Lsx0,976	609,59	0,000	5,5	F0_6	0,878	-12,5+Lsx0,970	201,1	0,000	9,4
F0_7	0,959	-12,629+Lsx0,973	729,900	0,000	5,04	F0_7	0,887	-9,551+Lsx0,971	219,9	0,000	9,1
F1_5	0,919	22,392+Lsx0,982	352,966	0,000	7,1	F0_7	0,887	-9,551+Lsx0,971	219,9	0,000	9,1
F1_6	0,953	2,075+Lsx0,957	629,6	0,000	5,41	F1_4	0,619	137,853+Lsx0,940	45,3	0,000	16,7
F1_7	0,935	10,784+Lsx0,945	442,9	0,000	6,31	F1_6	0,906	0,697+Lsx0,968	270,9	0,000	8,2
F2_4	0,649	158,652+Lsx0,858	57,3	0,000	14,8	F1_7	0,908	5,573+Lsx0,966	267,4	0,000	8,3
						F2_5	0,945	11,469+Lsx1,047	478,4	0,000	6,53
						F2_6	0,997	-4,410+Lsx1,002	870,5	0,000	1,53
						F3_5	0,931	21,392+Lsx1,175	377,3	0,000	7,15
						F3_6	0,885	6,509+Lsx1,107	214,7	0,000	9,2
						F3_7	0,881	14,237+Lsx1,095	206,6	0,000	9,36

Tableau VII Equations de régression et erreur standard de l'estimation de la longueur biomécanique du fémur et de l'humérus selon chaque sexe (Ls, longueur segment osseux)

Les équations estiment de manière fiable et précise la longueur biomécanique réelle chez les deux sexes (Tableau VIII et Annexe III). Le plus petit coefficient de corrélation est de 0,89.

Les différences entre les moyennes mesurées et estimées sont négatives pour les segments F3_5 et F3_7 chez les femmes et pour tous les segments chez les hommes présentés. Les équations sous-estiment donc quelque peu la longueur de l'humérus et du fémur. Cependant, cela n'est pas significatif et est faible, au vu des valeurs des différences moyennes. Aucune des moyennes estimées ne diffère significativement de la moyenne réelle lui correspondant ($p\text{-valeur} \geq 0,05$). Les valeurs de l'erreur absolue moyenne (MAE) et de la racine du carré moyen des erreurs (RMSE) sont toutes assez faibles pour l'humérus et les femmes et plus élevées chez l'homme et le fémur. On peut donc en déduire que ces équations de régression sont précises. Elles sont appropriées à l'estimation de la longueur biomécanique/physiologique des os longs incomplets.

		N	r ²	Différence moyenne (%)	MAE	RMSE
Femme	Humérus					
	H0_6	10	0,98	0,190	1,586	1,968
	H3_6	10	0,94	0,146	1,536	1,884
	H3_7	10	0,95	0,641	2,262	3,054
	Fémur					
	F2_5	10	0,95	0,495	4,770	5,945
	F3_5	10	0,92	-0,166	7,525	9,641
	F3_7	10	0,96	-0,341	6,245	7,243
	Homme	Humérus				
H0_6		10	0,98	-1,435	1,193	1,349
H3_6		10	0,97	-2,193	4,168	5,659
H3_7		10	0,98	-2,048	3,168	4,474
Fémur						
F2_5		10	0,95	-0,685	4,730	6,596
F3_5		10	0,94	-2,721	8,574	12,722
F3_7		10	0,89	-2,730	8,781	12,040

Tableau VIII Comparaison des longueurs biomécaniques estimées à celle mesurées pour l'humérus et le fémur de chaque sexe au sein d'un échantillon ostéologique provençal de validation du Néolithique final. Différence moyenne = [(moyenne estimée-moyenne mesurée) ÷ moyenne mesurée] ×100.

II.2.7 Mesure de l'asymétrie

L'asymétrie peut être calculée de différentes manières dépendantes de l'information recherchée et nous l'utiliserons notamment en ce qui concerne la détection d'individus pratiquant des activités spécialisées. Certains auteurs sont intéressés par l'indice de latéralisation permettant de connaître la direction de l'asymétrie (Mays et al. 1999, Perréard Lopreno 2007, Sládek et al. 2007). Cependant, nous préférons ne pas présumer de la latéralité dominante des individus. Par ailleurs, en cas de dominance de l'antimère gauche, les valeurs de l'asymétrie seront négatives en cas d'emploi de l'indice de latéralisation. La formule $[(\text{max} - \text{min})/\text{min}] \times 100$ a été utilisée

pour calculer la valeur absolue de l'asymétrie bilatérale où max représente ici la valeur maximum d'un paramètre et min sa valeur minimum (Trinkaus et al. 1994, Rhodes et Knüsel 2005, Marchi et al. 2006) dans le cadre de l'ostéométrie et de la géométrie de section. Plus la valeur sera proche de 0, moins l'asymétrie bilatérale sera prononcée. L'un des inconvénients de cette formule est qu'en cas d'asymétrie faible, l'intensité globale moyenne paraîtra plus importante. Pour des échantillons à forte latéralisation, cet effet sera néanmoins moindre.

Les travaux de G. Perréard Lopreno (2007) abordent l'asymétrie bilatérale du membre supérieur par l'analyse des propriétés géométriques de sections transverses. Ces travaux sont basés sur une population moderne de référence (collection SIMON, Genève) dont les occupations des sujets ont été renseignées (métiers ou type d'activités quotidiennes).

Dans un premier temps, comme nous ne connaissons pas les occupations de nos sujets contrairement à G. Perréard Lopreno (2007), nous allons étudier l'asymétrie des variations le long de la diaphyse humérale et radiale des propriétés géométriques AC,%AC, J et I_x/I_y . Cela nous permettra d'obtenir le profil médian de la population de ces variations pour chaque antèmère. Ensuite, nous comparerons le profil de nos individus atypiques pour voir comment ils en varient et s'ils suivent un profil proche des individus spécialisés définis par G. Perréard Lopreno (2007).

II.2.8 **Traitement statistique de l'analyse conjointe des indicateurs de l'activité**

II.2.8.1 ***Relation entre le développement des enthèses et les propriétés géométriques de sections transverses***

La géométrie de section et les lésions enthésopathiques sont deux outils utilisés en tant qu'indicateurs de l'activité. Cependant, le premier entre dans le cadre de référence biomécanique et le second paléopathologique. Comme expliqué précédemment, les études effectuant ces comparaisons restent peu nombreuses.

Nous préférons suivre les recommandations de S. Villotte (2008a) concernant la manipulation des données enthésopathiques et ne pas utiliser les données agrégées afin de prendre en compte les différents types d'enthèses. De même, nous tenons compte du lien que ses

travaux ont pu mettre en évidence entre l'activité et certaines enthèses. Nous ferons donc la distinction entre le groupe 1 lié à l'activité et les autres lors de l'interprétation.

L'analyse tient compte de l'ensemble des individus issus des ensembles funéraires collectifs et se focalise sur l'humérus et le fémur afin de posséder suffisamment de données de chaque approche pour effectuer le traitement statistique. Au vu de sa définition, nous avons choisi de comparer le moment quadratique polaire J de chaque section aux différentes enthèses du même os. La corrélation entre J et les enthèses a été étudiée selon le test de rang de Spearman. Le seuil de significativité statistique est de 5%.

Afin d'appréhender la relation de corrélation possible de manière plus fine et sa variabilité, nous avons fait appel aux modèles statistiques marginaux (Liang et Zeger 1986, Lipsitz et al. 1994). Les équations d'estimation généralisées (GEE) en font partie et permettent l'analyse de données non normales, discrètes et longitudinales normales. Celles-ci correspondent à des données dont les variables sont répétées car mesurées sur un même objet à un intervalle donné. Les GEE étendent les modèles linéaires généralisés afin d'appréhender les données longitudinales corrélées et les données groupées. Cela correspond à nos données qui sont de nature répétées.

Nous utilisons les données provenant d'individus présentant toujours la valeur de J pour les cinq sections et au moins une enthèse observable pour chaque antimère. Ces données définissent les valeurs dépendantes (Seck 2006). Ainsi, soit pour chaque individu i , un vecteur $Y_i = (Y_1, \dots, Y_n)$ où Y_j représente la présence ou l'absence de l'enthèse par rapport à la section correspondante. On effectue cela pour les deux antimères d'un même individu donc $n=12$ pour l'humérus et $n=10$ pour le fémur (nombre minimal d'enthèses total par individu) et Y_j et Y_j sont corrélés.

Les GEE gèrent nos nombreuses données manquantes dues aux hasards taphonomiques en les remplaçant par la moyenne des autres données individuelles (Liang et Zeger 1986). Le modèle doit comprendre des variables exogènes, définissant les caractéristiques du sujet. Ainsi, les valeurs explicatives pour l'observation j de l'individu i sont le sexe et la latéralité d'après le vecteur $X_{ij} = (X_{ij1}, \dots, X_{ijn})$ où $n=2$ (sexe et latéralité). Pour chacune le mode choisi comme catégorie de référence est le sexe masculin et l'antimère gauche. Un modèle a été généré pour chaque section ne prenant en compte que le paramètre J correspondant, ce qui équivaut donc à cinq modèles par os (humérus et fémur), dix modèles au total.

La distribution marginale de chaque variable Y_j s'effectue avec une fonction logit communément utilisée dans le cas de données binomiales. Enfin, il faut spécifier une structure à la matrice de corrélation $R_i(\alpha)$ entre les variables dépendantes. De sa proximité avec la réalité dépend l'exactitude des estimations. Dans le cas d'ensembles de données où le temps n'est pas un facteur jouant sur les mesures répétées, qu'il y a beaucoup d'observations par individu mais peu de ces derniers, une matrice de corrélation échangeable est conseillée. Chaque mesure est supposée posséder la même variance et l'existence d'un seul facteur de corrélation entre deux mesures. Nous avons donc fait le choix de cette matrice. Enfin, nos variables étant continues et déséquilibrées, nous avons utilisé les estimateurs de l'erreur type du modèle plutôt que ceux empiriques.

Les GEE ont été effectuées à partir de la **procédure GENMOD** du logiciel **SAS®9 (SAS Institute)**. Le seuil de significativité statistique est fixé à 5%.

II.2.8.2 *Comparaison des données morphologiques : propriétés géométriques de section, caractères morphologiques ostéoarticulaires et variables biométriques*

Nous avons choisi d'étudier pour chacune des autres approches (hormis les lésions enthésopathiques cf *supra*) la corrélation entretenue avec les propriétés géométriques de chaque section.

Aucun caractère morphologique ostéoarticulaire n'a été coté sur l'humérus. Nous allons étudier la corrélation de l'empreinte du ligament costo-claviculaire (clavicule) et de l'acromion bipartite à J et au ratio I_x/I_y grâce à des Analyses des Comparaisons Multiples (ACM). Pour le membre inférieur, tous les caractères seront confrontés à J et au ratio I_x/I_y grâce à des ACM.

Les résultats traiteront dans un premier temps des modèles d'activité des sujets issus de l'hypogée des Boileau puis de la comparaison des différents indicateurs. Par la suite, nous nous pencherons sur la spécificité ou sur l'homogénéité des individus des différents ensembles funéraires collectifs afin d'appréhender les modes d'exécutions des activités.



Chapitre III

Résultats

Chapitre III. Applications des méthodes

III.1 Analyse fonctionnelle de la série ostéoarchéologique de l'hypogée des Boileau

III.1.1 Caractérisation biométrique des sujets de l'hypogée des Boileau

Nous avons dans un premier temps cherché à repérer les individus atypiques. Si ces cas sont nombreux, il aurait été nécessaire d'éliminer ces valeurs aberrantes ou extrêmes. Seuls quelques individus récurrents sont atypiques pour le site des Boileau concernant les indices anatomiques (Tableau IX). Aucun individu atypique concernant ces variables n'a été mis en évidence au sein des autres sites.

Os	Variabes	Site	Femmes	Hommes
Humérus	IRH	Boileau	176	304
Fémur	IRP	Boileau		128/232
	IRD	Boileau		232
	IPL	Boileau		89/232
	ICD	Boileau		128/232
Tibia	IRT	Boileau		232/237
	IPC	Boileau		89/232/237

Tableau IX Liste des individus de l'hypogée des Boileau à valeurs atypiques pour les indices anatomiques os par os selon le sexe

Humérus

Le Tableau X indique les moyennes des mesures et des indices des humérus de l'échantillon de l'hypogée des Boileau par sexe.

On constate que l'ensemble des mesures présentent des différences significatives excepté pour la longueur maximale de l'humérus (HLX). L'indice diaphysaire (IPB) montre que tous les individus examinés possèdent des humérus de forme eurybrachique (non aplatis). Aucune différence significative n'est mise en évidence lors de la comparaison des indices entre les sexes.

Variables	Femmes			Hommes			Signification du test statistique <i>p</i>
	N	Moyenne	Ecart-type	N	Moyenne	Ecart-type	
HLX	10	282,00	12,13	9	295,76	15,62	,110
DTT	8	35,00	3,18	8	40,29	2,46	,010
DVT	11	34,00	3,05	9	38,01	3,60	,010
HDX	28	20,50	2,05	19	22,10	1,93	,010
HPW	28	60,50	5,79	19	66,79	4,97	,010
ED	29	24,00	4,18	16	26,65	2,02	,010
HBE	23	56,70	6,67	17	59,76	3,55	,010
IRH	10	21,36	1,97	8	22,04	1,55	,270
IPB	28	94,89	7,66	19	93,21	6,14	,850

Tableau X Moyennes des mesures et des indices des humérus de l'échantillon de l'hypogée des Boileau et comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney (en gras, $p \leq 0,05$)

La comparaison de l'asymétrie bilatérale entre les sexes n'est pas statistiquement significative pour l'humérus au sein de l'échantillon des Boileau (Tableau XI).

Variables	Femmes			Homme			Signification du test statistique
	N	Moyenne	Ecart-type	N	Moyenne	Ecart-type	p
HLX	5	3,27	1,64	6	2,45	,70	,710
LEP	1	2,27	.	4	4,93	4,22	
DTT	2	5,64	3,81	6	5,29	3,34	,830
DVT	3	10,13	6,37	6	5,94	4,97	,710
HDX	21	5,13	4,31	18	4,18	2,54	,710
HPW	21	4,88	3,58	18	5,69	3,85	,710
ED	15	7,42	6,09	15	6,11	3,23	,830
HBE	17	1,68	1,93	13	2,98	2,26	,710
LFO	23	54,80	238,79	16	5,16	3,68	,970

Tableau XI Moyennes de l'asymétrie bilatérale des variables ostéométriques de l'humérus pour l'échantillon de l'hyogée des Boileau et comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney(en gras, $p \leq 0,05$)

Radius

Des différences statistiquement significatives entre les sexes sont mises en évidence pour le diamètre diaphysaire maximum médio-latéral (Tableau XII). Il y a un dimorphisme sexuel significatif de la variable Dsmax, diamètre diaphysaire maximum antéro-postérieur ($p \leq 0,01$). Aucune différence significative n'apparaît en ce qui concerne la conformation.

Variables	Femmes			Hommes			Signification du test statistique
	N	Moyenne	Ecart-type	N	Moyenne	Ecart-type	p
RLX	12	214,00	19,053	7	232,40	12,682	,290
RLP	16	206,00	19,039	11	229,38	12,898	,080
DMT	29	15,00	1,269	18	16,24	1,735	,090
RPW	28	38,00	5,670	17	39,44	4,607	,150
Dmax	26	11,00	1,413	17	15,49	1,503	,110
Dsmax	26	20,00	1,237	17	12,06	1,283	,010
ED	17	29,00	1,907	10	20,89	1,188	,640
RBE	14	29,39	2,673	10	30,95	2,033	,140
IRR	12	16,10	2,62	7	17,01	,99	,410
IRD	19	53,26	29,130	15	61,47	27,702	,290

Tableau XII Moyennes des mesures et indices des radius de l'échantillon de l'hyogée des Boileau et comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney (en gras, $p \leq 0,05$)

Dans le Tableau XIII, on observe une asymétrie bilatérale différente entre les sexes statistiquement significative pour la variable longueur maximum du radius. Néanmoins, l'effectif est réduit pour cette variable.

Variables	Femmes			Homme			Signification du test statistique <i>p</i>
	N	Moyenne	Ecart-type	N	Moyenne	Ecart-type	
RLX	5	1,44	,31	2	,45	,63	,050
RLP	8	1,08	1,04	5	1,39	,62	,590
DMT	23	6,45	4,70	15	6,02	6,52	,750
RPW	22	5,32	4,68	13	3,40	4,44	,550
Dmax	18	6,11	4,61	13	5,42	6,60	,560
DSmax	18	6,23	7,90	13	4,54	4,45	,590
ED	10	7,32	5,62	4	5,56	4,14	1
RBE	6	2,28	2,71	5	4,88	3,51	,560

Tableau XIII Moyenne de l'asymétrie bilatérale des variables ostéométriques pour le radius de l'échantillon de l'hyogée des Boileau et comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney (en gras, $p \leq 0,05$)

Ulna

La comparaison de toutes les variables montre des différences statistiquement significatives entre hommes et femmes sauf pour la largeur maximale de l'extrémité distale (Tableau XIV, $p \leq 0,01$). La comparaison de l'indice de robustesse (IRU) et de platolénie (IPL) n'indique pas de différences statistiquement significatives entre les sexes. L'indice de platolénie (IPL) expose une conformation moyenne d'eurôlénie, soit un ulna à diaphyse circulaire chez les deux sexes.

Variables	Femmes			Hommes			Signification du test statistique <i>p</i>
	N	Moyenne	Ecart-type	N	Moyenne	Ecart-type	
ULX	15	236,97	14,71	9	254,24	11,21	,010
ULP	15	205,17	13,45	10	221,21	12,66	,010
UPW	22	32,60	2,77	14	35,56	2,85	,010
UTS	29	18,05	2,01	19	20,22	1,88	,010
USS	29	20,49	2,27	19	21,92	1,87	,010
ED	15	17,10	2,12	10	18,55	1,46	,010
UBE	14	16,15	2,46	8	17,74	1,82	,110
IRU	15	13,90	,94	9	13,84	,99	,580
IPL	29	88,36	7,47	19	92,50	7,96	,300

Tableau XIV Moyennes des mesures et indices de l'ulna de l'échantillon de l'hyogée des Boileau et comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney (en gras, $p \leq 0,05$)

La comparaison des variables de l'asymétrie bilatérale sexuelle ne met pas en évidence de différence statistiquement significative entre les sexes (Tableau XV).

Variables	Femmes			Hommes			Signification du test statistique
	N	Moyenne	Ecart-type	N	Moyenne	Ecart-type	p
ULX	3	1,25	1,12	6	1,20	,90	,640
ULP	4	2,63	,77	7	2,51	3,13	,640
UPW	12	1,57	2,55	9	5,51	5,23	,620
UTS	22	6,85	5,97	17	10,49	7,90	,620
USS	22	8,48	7,62	17	9,12	8,71	1
ED	5	4,03	6,27	7	6,07	3,66	,640
UBE	4	3,65	6,49	5	4,61	5,14	,890

Tableau XV moyennes de l'asymétrie bilatérale des variables ostéométriques pour l'ulna de l'échantillon de l'hyogée des Boileau et comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney (en gras, $p \leq 0,05$)

Fémur

La comparaison des mesures fémorales entre sexes met en évidence un dimorphisme sexuel significatif (Tableau XVI, $p \leq 0,01$). Selon l'indice pilastrique (IPI), la diaphyse fémorale moyenne possède un pilastre faible chez les deux sexes. Seul un sujet féminin a un pilastre robuste, quatre un pilastre moyen et cinq un pilastre nul. La majorité des sujets présente un pilastre faible. Chez les hommes, cinq sujets ont un pilastre moyen et un sujet possède un pilastre nul. La variabilité de la conformation est moindre par rapport à celle des sujets féminins. La comparaison des indices de robustesse au périmètre (IRP) et au diamètre (IRD) ne met pas en évidence de différence statistiquement significative entre les sexes. La conformation moyenne chez les deux sexes selon l'indice de platymérie (IPM) est la platymérie, soit une diaphyse aplatie de manière antéro-postérieure. Cinq sujets féminins sont concernés par l'eurymerie (diaphyse arrondie en-dessous du trochanter) et cinq par l'hyperplatymérie. Chez les hommes, la sténomérie (diaphyse aplatie de manière médio-latérale) atteint un individu et l'eurymerie quatre. La comparaison de l'indice condylo-diaphysaire n'indique aucun dimorphisme sexuel.

Variables	Femmes			Hommes			Signification du test statistique
	N	Moyenne	Ecart-type	N	Moyenne	Ecart-type	p
FLX	21	393,45	25,98	12	418,54	16,43	,010
FLP	21	388,27	26,22	12	415,00	16,05	,010
FTM	22	23,83	2,55	13	25,99	1,51	,010
FSM	23	23,93	3,11	13	26,83	1,61	,010
FPM	22	74,18	8,33	13	83,00	4,73	,010
DVT	33	38,33	2,87	18	42,48	2,33	,010
DTT	33	39,27	2,70	17	43,92	2,46	,010
FTS	41	31,53	3,07	22	33,54	2,38	,010
FSS	41	25,03	2,97	22	26,98	2,77	,010
ED	22	54,07	4,54	13	59,24	3,43	,010
FBE	15	70,00	4,82	8	75,13	5,58	,370
IPI	22	100,70	9,27	8	103,53	8,36	,090
IRP	20	19,10	1,52	12	19,97	1,30	,260
IPM	40	79,97	8,92	22	80,65	8,46	,130
ICD	14	24,11	11,38	8	29,24	10,17	,068

Tableau XVI Moyennes des mesures et indices du fémur de l'échantillon de l'hyogée des Boileau et comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney (en gras, $p \leq 0,05$)

La comparaison des variables de l'asymétrie bilatérale ne met pas en évidence de différence statistiquement significative entre les sexes (Tableau XVII).

Variables	Femmes			Hommes			Signification du test statistique
	N	Moyenne	Ecart-type	N	Moyenne	Ecart-type	p
FLX	13	,83	,82	7	,57	,61	,750
FLP	14	,63	,65	7	,79	,65	,750
FTM	14	2,58	3,44	8	2,35	1,96	,880
FSM	14	3,82	3,68	8	2,10	2,82	,750
FPM	14	1,80	1,64	8	2,37	2,02	,750
DVT	22	2,54	2,26	14	2,18	1,63	,750
DTT	22	2,59	2,35	13	2,70	2,39	,880
FTS	37	6,23	5,96	20	7,47	12,22	,750
FSS	37	7,69	9,08	20	6,43	7,70	,750
ED	13	2,62	3,11	9	2,77	2,06	,750
FBE	7	2,63	4,50	7	1,71	1,25	,750

Tableau XVII Moyenne de l'asymétrie bilatérale des variables ostéométriques pour le fémur de l'échantillon de l'hypogée des Boileau et comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney (en gras, $p \leq 0,05$)

Tibia

La comparaison de toutes les mesures du tibia met en évidence un dimorphisme significatif (Tableau XVIII, $p \leq 0,01$). La comparaison de l'indice de robustesse (IRT) ne met pas en évidence de différence statistiquement significative comme celle de l'indice cnémique (IPC). La diaphyse moyenne est mésocnémique (aplatissement peu marqué). On constate que 16 sujets féminins sont concernés par l'eurycnémie (diaphyse arrondie), la majorité étant mésocnémique. Chez les hommes, l'eurycnémie concerne trois sujets et la platycnémie six individus (aplatissement de la diaphyse médio-latéral).

Variables	Femmes			Hommes			Signification du test statistique
	N	Moyenne	Ecart-type	N	Moyenne	Ecart-type	p
TLX	13	314,00	21,58	7	341,57	20,39	,010
TBE	13	64,76	5,83	7	72,13	3,94	,010
TTN	34	21,44	2,16	17	23,67	2,35	,010
TSN	34	31,01	3,47	18	35,57	3,10	,010
TPW	32	66,25	6,22	16	75,31	4,55	,010
ED	23	34,90	4,07	15	38,28	1,69	,010
TBE	20	42,03	2,92	13	45,65	4,99	,010
IRT	13	20,98	1,60	7	21,78	1,83	,190
IPC	34	69,44	5,80	17	65,84	6,69	,010

Tableau XVIII Moyennes des mesures et indices du tibia de l'échantillon de l'hypogée des Boileau et comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney (en gras, $p \leq 0,05$)

La comparaison des variables de l'asymétrie bilatérale ne met pas en évidence de différence statistiquement significative entre les sexes (Tableau XIX).

Variables	Femmes			Hommes			Signification du test statistique
	N	Moyenne	Ecart-type	N	Moyenne	Ecart-type	<i>p</i>
TLX	3	1,95	1,17	3	1,08	,76	,670
TBE	5	3,56	3,59	6	1,70	1,80	,670
TTN	27	4,94	5,46	14	4,48	4,61	,750
TSN	27	4,98	4,41	15	8,05	16,83	,750
TPW	22	1,92	2,30	13	1,13	1,06	,580
ED	14	4,97	5,86	10	3,49	2,48	,750
TBE	9	5,16	4,94	9	11,04	20,07	,670

Tableau XIX Moyenne de l'asymétrie bilatérale des variables ostéométriques pour le tibia de l'échantillon de l'hypogée des Boileau et comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney (en gras, $p \leq 0,05$)

III.1.1.1 Analyses multivariées des variables ostéométriques

Les indices anatomiques du membre supérieur

Les indices de robustesse et diaphysaire du membre supérieur ont été intégrés à une même ACP :

- Humérus : indice de robustesse (IRH), indice diaphysaire (IPB)
- Radius : indice de robustesse (IRR), indice diaphysaire (IRD)
- Ulna : indice de robustesse (IRU), indice diaphysaire (IPL).

Les indices étant construits à partir des mesures, il n'est pas présenté ici les analyses multivariées effectuées avec elles.

Il y a sept individus qui ont été intégrés à cette analyse en composantes principales.

Les trois premiers axes du plan factoriel expliquent 90,6% de la variance totale (Figure 17). Le premier axe est principalement construit de manière négative par l'indice diaphysaire de l'ulna et par les indices de robustesse de l'humérus et du radius. Il traduit 43,8% de la variance totale. Cette dernière est expliquée à 24,7% par l'axe deux. Celui-ci est construit principalement par l'indice diaphysaire du radius. Enfin, le troisième axe explique 22,1% de la variance totale et est défini par l'indice diaphysaire de l'humérus et l'indice de robustesse de l'ulna.

Des corrélations fortes et significatives existent entre IRH et IRR, IPL et IRU. Elles sont négatives entre IPL-IRU et IRH-IRR. IRD et IPB ne sont que faiblement corrélés de manière négative.

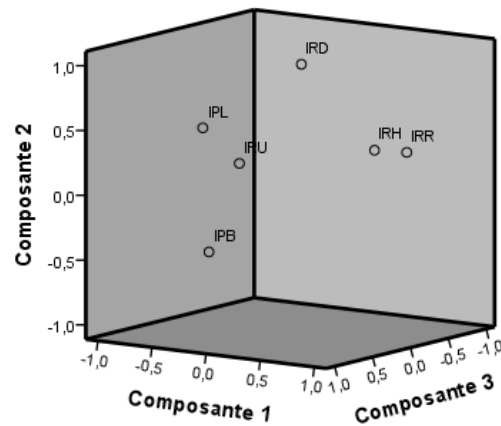


Figure 17 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes
Principales intégrant les indices anatomiques du membre supérieur
pour les sujets de l'hypogée des Boileau

Les individus ayant des valeurs élevées le long de l'axe 1 présentent donc des indices de robustesse huméral et radial importants mais un très faible indice diaphysaire de l'ulna (Figure 17).

Les diaphyses humérales et radiales seront robustes et celle de l'ulna sera eurybrachique (peu aplatie). Le long de l'axe 3 les individus à faibles valeurs auront des indices diaphysaire huméral et de robustesse de l'ulna peu élevés. La diaphyse humérale sera aplatie plus qu'eurybrachique. Il ne semble pas y avoir de regroupement lié au sexe (Figure 18). On remarque que les individus 288 et 185 sont isolés selon les axes 1 et 2. Ils font preuve d'une robustesse humérale et radiale importante, tout en ayant des os radial et ulnaire très aplatis. L'individu 284 est à l'écart selon les axes 3 et 1 et présente un humérus eurybrachique et un ulna robuste. Les contraintes subies par cet humérus sont plus orientées que chez les autres individus. La plupart des individus (4) présentent un humérus et un radius robustes, un ulna aplati et un radius non aplati. Le faible nombre d'individus empêche toute hypothèse à l'échelle de l'échantillon.

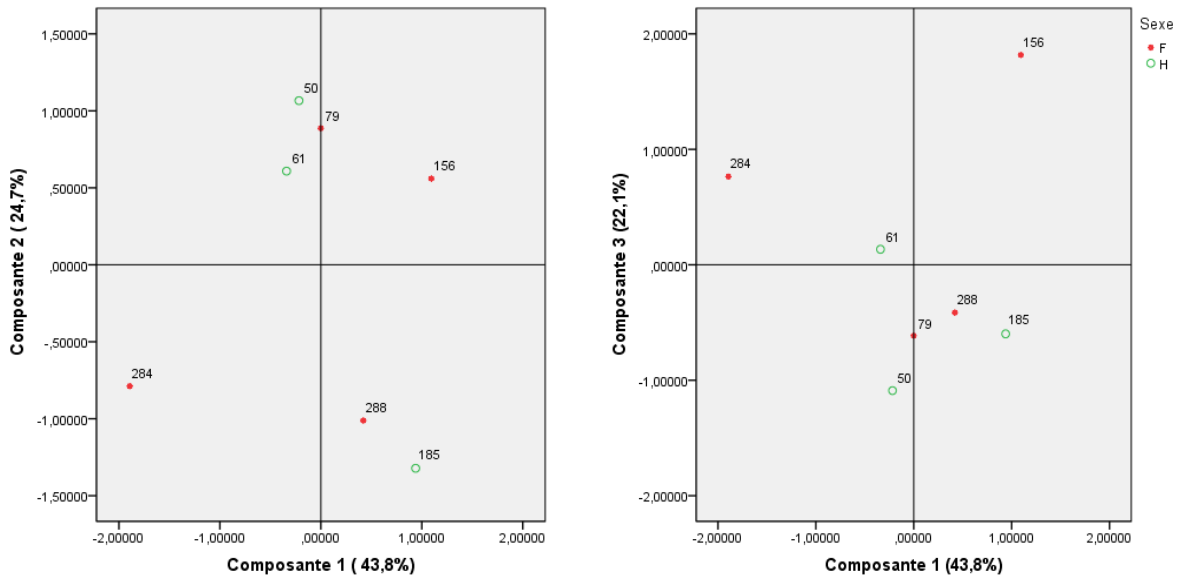


Figure 18 Projection du nuage de points selon les trois premières composantes issue de l'ACP intégrant les indices anatomiques du membre supérieur des sujets de l'hypogée des Boileau

Les indices anatomiques du membre inférieur

Les indices de robustesse et diaphysaire du membre inférieur ont été intégrés à une même ACP :

- Fémur : indices de robustesse (périmètre : IRP, et diamètre : IRD), indice pilastrique (IPI), indice de platymérie (IPM)
- Tibia : indice de robustesse (IRT), indice cnémique (IPC).

Il s'agit de 14 individus qui ont été intégrés à cette ACP. Les deux premiers axes du plan factoriel expliquent 70,6% de la variance totale (Figure 19). L'axe 1 est construit principalement par les indices de robustesse du fémur et du tibia et de manière négative par les indices cnémique et de platymérie. Il traduit 52,8% de la variance totale. Cette dernière est expliquée à 17,8% par l'axe 2 qui est principalement construit par l'indice pilastrique.

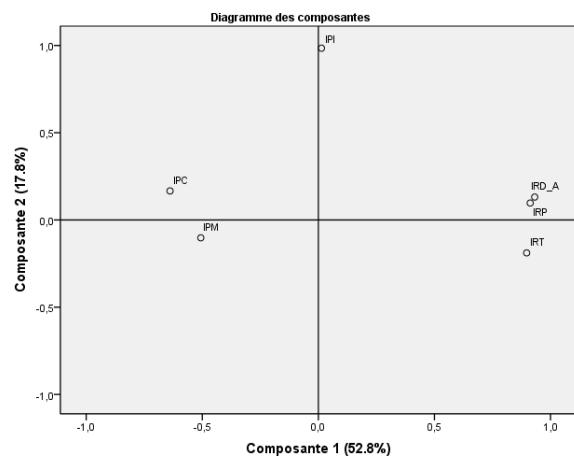


Figure 19 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les indices anatomiques du membre inférieur pour les sujets de l'hypogée des Boileau

Des corrélations fortes et significatives existent entre IRD et IRP. Elles sont négatives entre IPC-IPM et IRP-IRD-IRT.

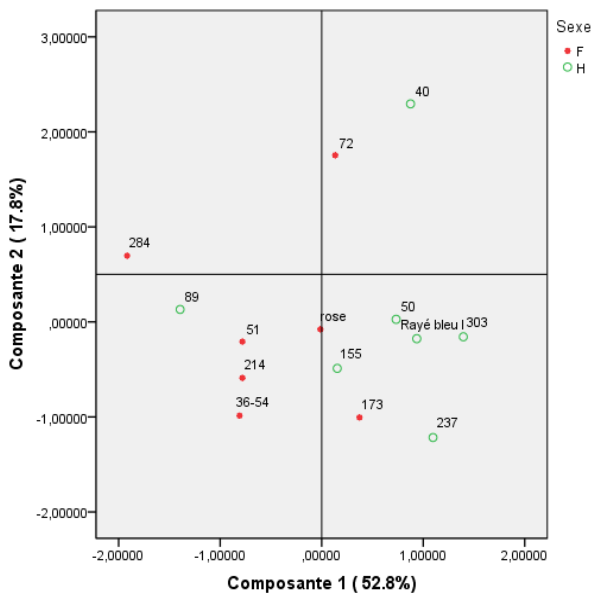


Figure 20 Projection du nuage de points selon les deux premières composantes issues de l'ACP intégrant les indices anatomiques du membre inférieur des sujets de l'hypogée des Boileau

Les individus sont principalement dispersés le long du premier axe. Les individus à valeurs élevées le long de cet axe possèdent des indices de robustesse importants mais des indices cnémique et de platymérie faibles (Figure 20). Les diaphyses seront robustes mais elles subiront un aplatissement antéro-postérieur (A-P) marqué. Les contraintes s'orienteront selon l'axe médio-latéral (M-L). Cela concerne plus les sujets masculins que les femmes. On remarque une division sexuelle selon ces variations osseuses. Encore une fois on constate que l'individu masculin 89 est isolé des autres sujets de même sexe et possède des caractéristiques féminines. Enfin, on retrouve

isolés le long de l'axe 2 les sujets féminin 72 et masculin 40 à pilastre fort en face postérieure. Ces deux individus sont répartis en accord avec le dimorphisme sexuel suggéré par l'axe 1.

III.1.2 Observation des fréquences des caractères morphologiques ostéoarticulaires chez les sujets de l'hypogée des Boileau

Treize Caractères Morphologiques Ostéoarticulaires (CMO) ont pu être observés au moins une fois sur la totalité des variations cotées (Tableau XX). On observe un déséquilibre important entre les membres puisqu'un seul caractère est observé pour le membre supérieur (empreinte du ligament costo-claviculaire) par rapport au membre inférieur. Certains caractères sont rares, leur fréquence est basse (patella de Messeri, facette latérales d'accroupissement du talus et facette fémorale de Martin). Aucun caractère ne possède une fréquence supérieure à 80%, seules les facettes médiales d'accroupissement du talus s'en approchent. Néanmoins, les fréquences concernant ces dernières ne correspondent pas entre talus et tibia : la mauvaise conservation au sein d'un même individu des deux os ou la non occurrence simultanée de ces caractères peuvent expliquer ce déséquilibre. Seules la syndesmose sternale (clavicule) et la facette de Poirier (fémur) sont statistiquement liées au sexe. De manière globale, la comparaison

des fréquences du membre supérieur et inférieur ne met pas en évidence de différences statistiquement significatives.

Os	Variables	Femme		Homme		Total	Fréquence	Signification du test statistique
		n/N	Fréquence	n/N	Fréquence			
Clavicule	Clsyn	8/19	42,10%	14/17	82,40%	22/36	61,10%	0,019
Scapula	Scacrobi	0/20	0%	0/11	0%	0/31	0%	
Os coxal	Cfacieslun	0/22	0%	0/12	0%	0/34	0%	
	CfacSacral	0/8	0%	0/7	0%	0/15	0%	
Fémur	Fempcox	5/12	41,70%	5/11	45,50%	10/23	43,50%	1
	Fallen	3/24	8,80%	3/18	16,70%	6/42	14,30%	1
	Fpoirier	2/25	8%	6/18	33%	8/43	18,60%	0,05
	Fmartin	1/13	7,70%	1/7	14,30%	2/20	10%	1
	Fcharles	10/17	58,80%	3/11	27,30%	13/28	46,40%	0,137
	Femptib	8/20	40%	4/14	28,60%	12/34	35,30%	0,717
	Fligneinter	0/10	0%	0/6	0%	0/16	0%	
Patella	Pmesseri	0/10	0%	1/6	16,70%	1/16	6,30%	0,375
Tibia	Tfaclat	7/20	35%	2/11	18%	9/31	29%	0,429
	Tfacmed	5/16	31,30%	1/11	9%	6/27	22,20%	0,35
Talus	Tafacmed	11/18	61,10%	13/16	81,30%	24/34	70,60%	0,27
	Tafaclat	2/17	11,80%	1/14	7%	3/31	9,60%	1
	Tafacpres	7/18	38,90%	2/15	13,30%	9/33	27,30%	0,134

Tableau XX Fréquence générale des caractères morphologiques ostéoarticulaires par localisation au sein de l'hypogée des Boileau selon le sexe et comparaison homme/femme selon le test de Fisher (en gras, $p \leq 0,05$)

L'échantillon présente à l'échelle du membre inférieur des fréquences importantes de caractères liés à une posture accroupie (facettes d'accroupissement sur le talus et le tibia). Les CMO situés près de la hanche présente des fréquences plus importantes chez les hommes. Ces caractères correspondent à des mouvements d'abduction-adduction, de rotation et de flexion de la jambe.

Les seules différences significatives se situent de manière isolées sur la clavicule et la tête fémorale et les différences homme-femme sont faibles. Les hommes sollicitent plus les muscles pectoraux et le ligament costo-claviculaire que les femmes.

La comparaison des variables ne met pas en évidence de dimorphisme de l'asymétrie bilatérale, ni une asymétrie bilatérale particulière des CMO.

III.1.2.1 *Analyses multivariées des caractères morphologiques ostéoarticulaires*

Les caractères morphologiques ostéoarticulaires du membre supérieur

Un total de 33 individus a été sélectionné pour cette Analyse des Correspondances Multiples (ACM). Elle montre la proximité des sujets masculins de la modalité « présence » de Clsyn (clavicule, Figure 21). Cette proximité fait écho à l'occurrence plus fréquente et statistiquement significative de ce CMO chez les hommes à l'échelle de ce marqueur. A l'échelle globale du membre supérieur, les résultats du test ne font pas apparaître de contingence entre le sexe et l'apparition des marqueurs. D'après ce graphique, les hommes ont une sollicitation intensive des muscles pectoraux et donc du ligament costo-claviculaire. Cependant, au vu du peu de variance totale de l'information expliquée par les axes, ces résultats sont à considérer avec prudence.

Les caractères morphologiques ostéoarticulaires du membre inférieur

Un total de 33 individus a pu être sélectionné pour cette ACM (Figure 22). En étudiant les modalités, les hommes sont plus proches des modalités « présence » que les femmes pour le membre inférieur mais il n'y a pas de regroupement des CMO statistiquement significatif liés au sexe. La conservation variable des ossements empêche de proposer un lien entre les mouvements et le sexe, notamment pour les femmes. Au vu du peu de variance totale de l'information expliquée par les axes, ces résultats sont à considérer avec prudence.

III.1.3 Observation de l'aspect osseux des enthèses chez les sujets des Boileau

Un total de 1222 insertions a pu être observé et seulement 18% d'entre-elles montrent un remaniement pour 55 individus (Tableau XXI). La majorité des sites d'insertions ne présentent que peu de modifications osseuses, la médiane de la distribution est dans chaque cas le stade « A » qui définit l'absence de remaniement. Cela traduit de la rareté des lésions enthésopathiques au sein de notre échantillon. Les hommes sont plus atteints au niveau du coude que les femmes mais il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les sexes par insertions. Une mauvaise conservation ne nous permet pas de juger d'une différence statistiquement significative au niveau de l'épaule. Enfin pour les membres inférieurs, la comparaison par insertion ne met pas en évidence de différence statistiquement significative (os coxal/fémur).

Les insertions les plus développées sont situées sur les membres supérieurs (Figure 23). Concernant les membres supérieurs, les sites les plus atteints sont les insertions du muscle subscapulaire droit (HSC), des biceps brachial (RBB) et des supra-épineux et infra-épineux droits (HSI). Les fréquences les plus faibles sont celles des insertions des muscles ilio-psoas (FIP), des épicondyles latéraux gauches (HEL) et médiaux gauches (HEM). Pour finir, l'insertion des muscles supra-épineux et infra-épineux gauche (HSI) n'est touchée par aucun remaniement osseux.

Sévérité											
localisation	Insertion	Latéralité	n	absence (A) %	remaniement mineur (B) %	remaniement majeur (C) %	B+C %	Médiane	Mode		
Membre supérieur	HSC	G	17	76,5	17,6	5,9	23,5	A	A		
		D	8	66,6	25,0	8,3	33,4	A	A		
	HSI	G	12	100,0	0,0	0,0	0,0	A	A		
		D	8	72,7	18,2	9,1	27,3	A	A		
	HEM	G	38	89,5	10,5	2,6	10,5	A	A		
		D	33	78,6	21,4	0,0	21,4	A	A		
	HEL	G	31	87,1	12,9	0,0	12,9	A	A		
		D	29	76,3	23,7	0,0	23,7	A	A		
	RBB	G	41	68,3	31,7	0,0	31,7	A	A		
		D	32	72,2	25,0	2,3	27,8	A	A		
	Total			249	87,0 %	12,4 %	1 %	13 %	A	A	
	Membre inférieur	CSB	G	47	78,7	21,3	0,0	21,3	A	A	
D			34	79,0	18,6	2,3	21,0	A	A		
FPF		G	35	74,3	25,7	0,0	25,7	A	A		
		D	29	70,7	29,3	0,0	29,3	A	A		
FMF		G	31	72,2	16,1	0,0	27,8	A	A		
		D	24	72,7	27,3	0,0	27,3	A	A		
FIP		G	42	83,3	16,7	0,0	16,7	A	A		
		D	39	86,7	11,1	2,2	13,3	A	A		
Total			281	77,2 %	20,9 %	2 %	22 %	A	A		
TOTAL			530	81,6 %	17,1 %	1,3 %	18,3 %	A	A		

Tableau XXI Fréquences générales des lésions enthésopathiques du squelette appendiculaire selon le site d'insertion et le degré de sévérité des sujets de l'hypogée des Boileau. Les sites d'insertions appartiennent au groupe 1 lié à la pratique d'activités physiques.

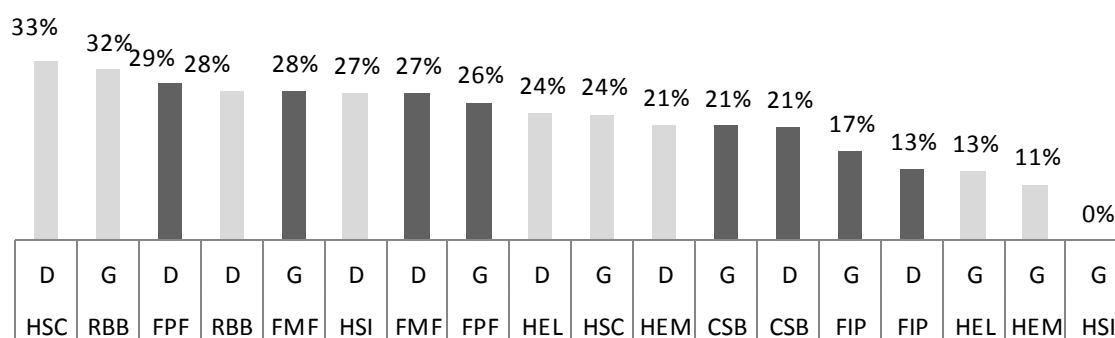


Figure 23 Fréquence des lésions (B+C) des insertions du groupe 1 de l'échantillon de l'hyogée des Boileau. Gris clair : enthèses du membre supérieur, gris foncé : enthèses du membre inférieur. Les variables sont explicitées au tableau

V

Quasiment 23% de notre échantillon présente au moins une enthésopathie du groupe 1 liée à la pratique d'activité physique (Tableau XXII). Un haut degré de sévérité reste rare (stade « C », 1,2%), les remaniements de l'aspect osseux des enthèses sont donc faibles. Les tests ne mettent pas en évidence de différence significative au sein d'un même sexe entre les membres supérieur et inférieur.

Concernant le membre supérieur, la dominance fonctionnelle du côté droit n'est pas mise en évidence de manière significative au sein des groupes hommes-femmes et il n'y a pas d'atteinte préférentielle liée au sexe pour le membre supérieur ($p=0,42$).

Pour le membre inférieur, aucune différence significative n'est mise en évidence concernant la latéralité des lésions intra-sexes. Cependant, les hommes sont plus atteints que les femmes de manière significative ($p=0,05$), sans qu'une asymétrie ne soit mise en évidence.

Les individus suivants : 52 (homme), 133 (femme) et 177 (homme) sont considérés comme atypiques car présentant un haut degré de sévérité pour au moins l'une des enthèses (stade « C ») surtout au niveau du membre supérieur.

Membre supérieur										
Droit			Gauche							
	Femmes	Hommes	Total	Femmes	Hommes	Total				
N	41	24	65	41	24	65				
Présent (%)	20,70	31,60	25,10	10,50	27,10	18,70	Femmes	Hommes	Total	
Absent (%)	79,30	68,40	74,60	89,50	72,90	80,90	N	41	24	65
Stade B (%)	18,40	30,00	23,10	9,20	25,70	17,30	Présent (%)	17,60	30,10	22,70
Stade C (%)	2,30	1,60	2,00	1,30	1,40	1,40	Absent (%)	82,30	69,50	77,30
Membre inférieur										
N	41	24	65	41	24	65	Stade B (%)	16,60	28,70	21,50
Présent (%)	20,20	24,60	22,20	16,50	24,50	20,00	Stade C (%)	1,00	1,40	1,20
Absent (%)	79,50	74,60	77,70	82,80	75,40	80,00				
Stade B (%)	20,20	21,50	21,00	16,50	24,50	20,00				
Stade C (%)	0,00	3,10	1,20	0,00	0,00	0,00				

Tableau XXII Fréquences générales des lésions enthésopathiques des membres selon la présence et le degré de sévérité pour les insertions du groupe 1 des sujets l'hypogée des Boileau. A gauche, selon la latéralité et la localisation des insertions et à droite, selon le sexe

III.1.3.1 *Analyses multivariées de l'aspect osseux des enthèses*

L'aspect des enthèses du membre supérieur

Les enthèses sélectionnées pour l'ACM suivante appartiennent au groupe 1 désigné comme étant lié à l'activité par S. Villotte (2008a). Les sexes sont nettement séparés et les sujets masculins sont proches de la modalité « présence » de remaniement des enthèses des épiphyses humérales et de l'enthèse radiale (Figure 24). Les sujets féminins sont isolés et proches des modalités « absence » des enthèses. Cependant, cette analyse ne souligne pas de contingence entre les variables et le sexe à l'échelle globale du membre supérieur. Au vu du peu de variance totale de l'information expliquée par les axes, ces résultats sont à considérer avec prudence.

L'aspect des enthèses du membre inférieur

Les enthèses sélectionnées pour l'ACM suivante appartiennent au groupe 1 désigné comme étant lié à l'activité par S. Villotte (2008a). Comme déjà souligné, cette analyse met aussi en évidence un dimorphisme sexuel statistiquement significatif concernant les fréquences générales à l'échelle du membre inférieur (Figure 25). Les sujets masculins sont plus proches des modalités « présence » des lésions, les femmes étant voisines des modalités « absence ». Au vu du peu de variance totale de l'information expliquée par les axes, ces résultats sont à considérer avec prudence.

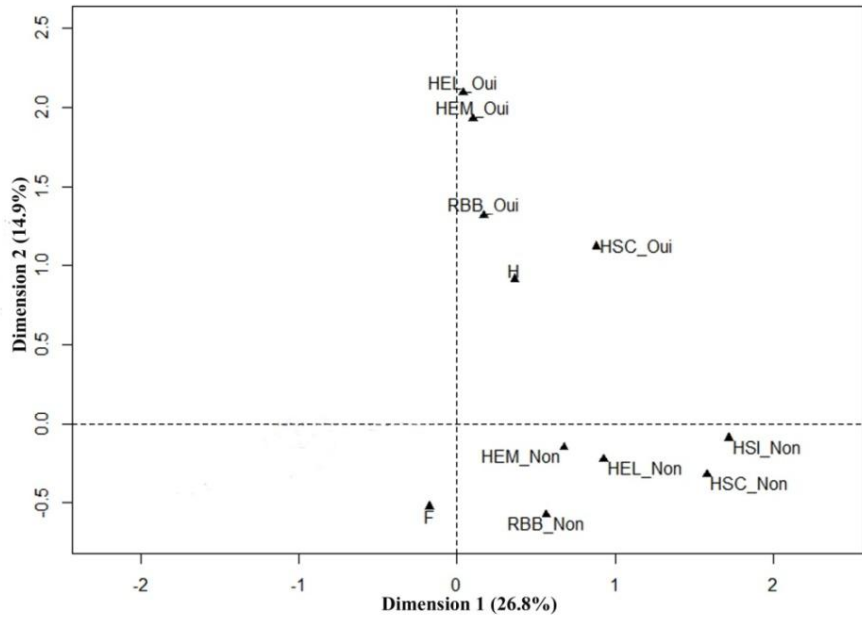


Figure 24 Analyse des Correspondances Multiples des lésions des enthèses du groupe 1 (membre supérieur) des sujets de l'hypogée des Boileau selon le sexe

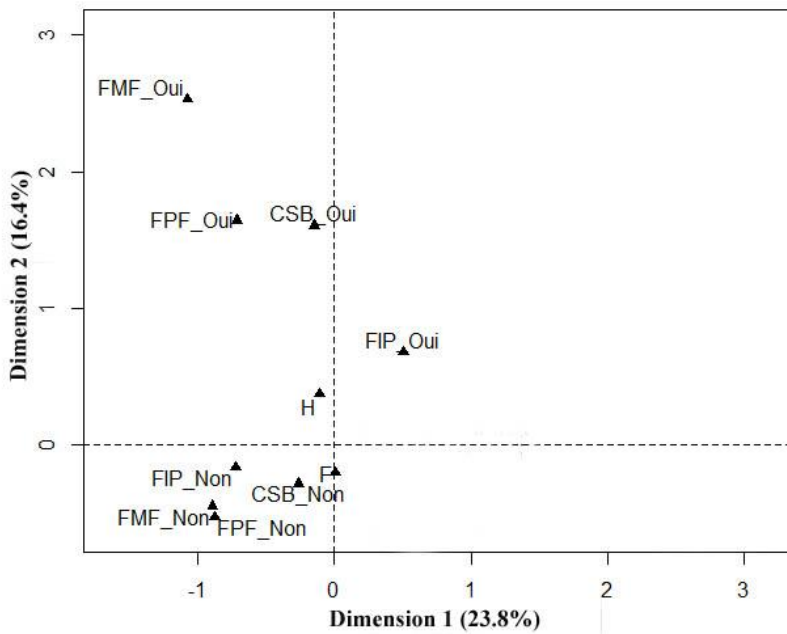


Figure 25 Analyse des Correspondances Multiples des lésions des enthèses du groupe 1 (membre inférieur) des sujets de l'hypogée des Boileau selon le sexe

III.1.4 Analyse fonctionnelle par observation des propriétés géométriques de sections transverses chez les sujets de l'hyogée des Boileau

Humérus

Afin de pouvoir comparer les caractéristiques de notre échantillon à des études similaires, nous présentons principalement pour l'humérus les valeurs issues de la section à 35% de la longueur biomécanique. Afin d'appréhender l'impact potentiel de l'activité physique spécialisée sur la morphologie osseuse du membre supérieur, nous nous pencherons sur l'asymétrie des paramètres AC, %AC, J et I_x/I_y le long de la diaphyse.

	Homme			Femme			Dimorphisme sexuel (%) Homme-Femme*	Signification du test statistique p
	Moyenne	N	Ecart type	Moyenne	N	Ecart type		
Humérus gauche								
AT (mm ²)	486,273	16	93,574	496,221	17	63,469	-2,005	0,349
AC (mm ²)	355,313	16	90,368	327,554	17	54,735	8,474	0,249
AM (mm ²)	130,960	16	52,859	168,666	17	76,708	-22,356	0,171
%AC	72,861	16	11,185	66,812	17	12,813	9,055	0,140
I_x (mm ⁴)	122,307	16	53,620	109,682	17	34,402	11,511	0,349
I_y (mm ⁴)	117,134	16	44,311	106,821	17	31,774	9,655	0,313
I_{max} (mm ⁴)	131,900	16	54,532	121,250	17	38,520	8,784	0,494
I_{min} (mm ⁴)	107,539	16	43,412	95,255	17	27,197	12,897	0,171
J (mm ⁴)	239,440	16	96,812	216,503	17	64,123	10,594	0,296
I_x/I_y	1,041	16	0,111	1,035	17	0,144	0,575	0,705
I_{max}/I_{min}	1,229	16	0,178	1,275	17	0,199	-3,650	0,321
Humérus droit								
AT (mm ²)	514,837	16	73,758	508,201	17	148,678	-4,333	0,730
AC (mm ²)	379,608	16	76,708	337,428	17	109,349	5,409	0,227
AM (mm ²)	135,229	16	78,160	170,773	17	99,396	-24,041	0,112
%AC	74,190	16	12,098	67,323	17	13,343	9,545	0,073
I_x (mm ⁴)	133,044	16	43,354	115,466	17	82,905	-0,403	0,168
I_y (mm ⁴)	131,161	16	37,173	103,373	17	72,446	9,547	0,091
I_{max} (mm ⁴)	148,438	16	38,491	120,064	17	82,985	7,578	0,084
I_{min} (mm ⁴)	115,768	16	36,080	98,774	17	72,306	0,379	0,190
J (mm ⁴)	264,204	16	60,468	218,838	17	155,042	4,300	0,078
I_x/I_y	1,062	16	0,271	1,128	17	0,099	-5,284	0,863
I_{max}/I_{min}	1,576	16	1,550	1,224	17	0,108	30,097	0,890

Tableau XXIII Propriétés géométriques et dimorphisme sexuel biomécanique huméral à 35% de la diaphyse au sein de l'échantillon de l'hyogée des Boileau. Comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney (en gras, $p \leq 0,05$). *[(homme – femme)/femme] $\times 100$.

Les paramètres AT, AM (côté gauche) et AT, AM, I_x (côté droit) ainsi que les ratios de conformation I_{max}/I_{min} (côté gauche) et I_x/I_y (côté droit) ont une valeur plus haute chez les sujets féminins mais la différence entre sexe n'est pas statistiquement significative (Tableau XXIII). L'aire médullaire plus élevée chez les femmes indique que la section est moins structurellement

renforcée que celle des hommes et donc moins résistante aux contraintes. Pour preuve la valeur de %AC des sujets féminins est inférieure à celle des hommes de façon bilatérale. Chez les femmes, les contraintes bilatérales antéro-postérieures et l'amplitude des contraintes à gauche est sont plus importantes que chez les hommes. On remarque une plus grande variabilité de la distribution des valeurs des variables chez les femmes.

Certains individus sont atypiques après analyse de la distribution des données :

- 131 (femme, valeur éloignée haute), 128 (homme, valeur éloignée haute), 61 (homme, valeur éloignée basse) : aire corticale
- 304 (homme, valeur éloignée haute), Bleu rayé I (homme, valeur éloignée basse), 61 (homme, valeur extrême basse) : pourcentage d'aire corticale
- 131 (femme, valeur éloignée haute), 128 (homme, valeur éloignée haute), 61 (homme, valeur éloignée basse) : moment quadratique polaire.

III.1.4.1 *Variation des propriétés géométriques le long de la diaphyse selon le sexe et la latéralité*

Aire corticale

Chez les sujets féminins (Figure 26), une latéralisation à droite de l'aire corticale est présente tout du long de la diaphyse. Cette asymétrie bilatérale n'est pas statistiquement significative chez l'ensemble des femmes.

Concernant les sujets masculins, il y a latéralisation à droite du paramètre de la partie distale de la diaphyse jusqu'au tiers proximal. Après 65%, l'aire corticale diminue des deux côtés et la latéralisation favorise le côté gauche. Aucune asymétrie bilatérale statistiquement significative n'est mise en évidence chez l'ensemble des hommes.

Les individus 131 (femme, valeur extrême haute) et 61 (homme, valeur éloignée haute) possèdent une asymétrie atypique en ce qui concerne la répartition de l'aire corticale à 35%.

Pourcentage de l'aire corticale

La diaphyse est caractérisée par une quantité plus importante d'os cortical dès la partie proximale du côté droit chez les individus féminins (Figure 26). Néanmoins, l'antimère gauche se renforce entre 20 et 50% jusqu'à atteindre le même niveau des deux côtés. Du milieu de la diaphyse à la partie proximale, le renfort structurel diminue nettement et de manière plus abrupte pour la diaphyse droite que du côté gauche. Aucune asymétrie bilatérale statistiquement significative n'a été observée.

Chez les sujets masculins, à partir de la mi-diaphyse, le pourcentage d'aire corticale baisse plus rapidement du côté droit que du gauche engendrant une dominance de ce dernier en partie proximale de l'os sans qu'une asymétrie bilatérale n'apparaisse.

L'individu 61 (homme, valeur extrême haute) possède une asymétrie atypique concernant le renfort structurel de la diaphyse à 35%.

Moment quadratique polaire

Les sujets féminins ont une robustesse et une résistance à la torsion et à la flexion plus importante à gauche qu'à droite tout du long de la diaphyse (Figure 26). A partir de 35%, cette latéralisation diminue du fait de la baisse de robustesse du côté gauche et de l'augmentation de celle de l'autre antimère. Cela se poursuit jusqu'à ce qu'elles deviennent équivalentes à 65% et re augmente à 80% de concert. Aucune asymétrie bilatérale statistiquement significative n'est mise en évidence.

Concernant les hommes, le moment quadratique polaire J est toujours plus important du côté droit même s'il diminue jusqu'à la mi-diaphyse de façon bilatérale. A partir de ce point, la variable re augmente de manière simultanée. A 65% de la diaphyse, cette dominance du côté droit est significative ($p=0,029$).

Une asymétrie atypique du moment quadratique polaire J apparaît pour les individus 131 (femme, valeur extrême haute), 301 (femme, valeur éloignée haute), 128 (homme, valeur extrême haute) et 61 (homme, valeur éloignée haute).

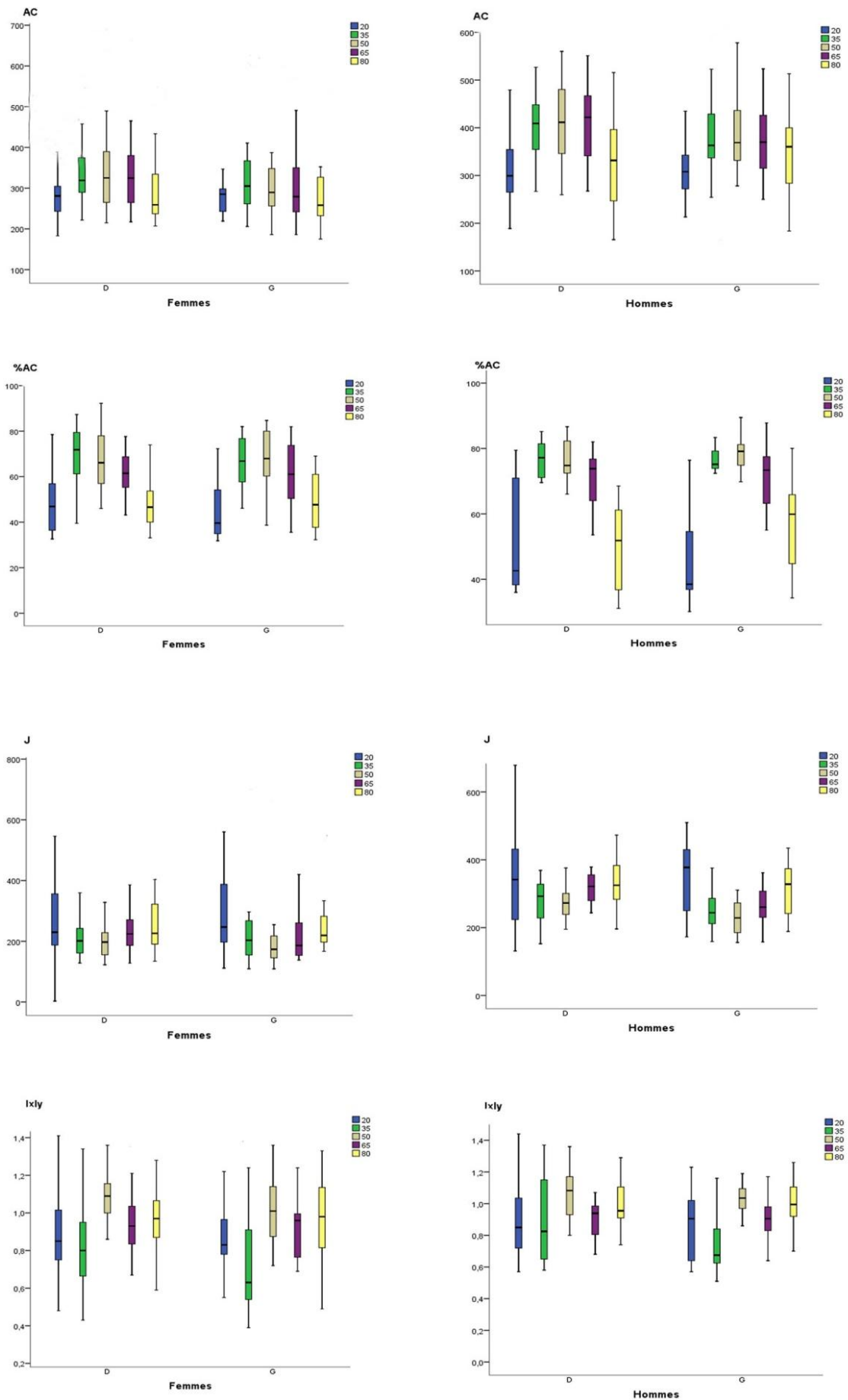


Figure 26 Variation des propriétés géométriques le long de la longueur biomécanique de l'humérus (%) selon la latéralité (D et G) pour chaque sexe au sein de l'hyogée des Boileau. AC en mm^2 et J en mm^4

Ratio de conformation diaphysaire I_x/I_y

Chez les sujets féminins (Figure 26), la diaphyse à 20% subit des contraintes selon l'axe M-L et dénote un aplatissement A-P plus important à droite qu'à gauche.

Néanmoins, entre 20 et 35% il y a une diminution des contraintes selon l'axe M-L pour l'antimère droit tandis qu'elles augmentent à gauche. A mi-diaphyse, la dominance latérale est à gauche suite à une diminution importante des contraintes selon l'axe M-L et l'augmentation des contraintes selon l'axe A-P de ce côté-ci. Enfin, jusqu'à la partie proximale, la diaphyse tend vers la circularité. Aucune asymétrie bilatérale statistiquement significative n'est observée.

Pour les individus masculins, les contraintes passent d'un contraire à l'autre tout le long de la diaphyse en commençant entre 20 et 35% avec l'augmentation des contraintes selon l'axe M-L jointes à un aplatissement A-P de la section pour les deux côtés. Aucune asymétrie bilatérale statistiquement significative n'est mise en évidence.

Il y a une asymétrie atypique de la conformation diaphysaire à 35% pour l'individu 74 (femme, valeur éloignée haute).

Asymétrie bilatérale

Aucun dimorphisme sexuel de l'asymétrie bilatérale statistiquement significatif n'est relevé même en excluant les individus atypiques (Tableau XXIV). Concernant les pourcentages médians d'asymétrie bilatérale, les valeurs des variables féminines sont supérieures à celles des hommes uniquement pour AC (6%) et %AC (3%).

Variables	Homme		Femme		Signification du test statistique <i>p</i>
	Moyenne	<i>N</i>	Moyenne	<i>N</i>	
AT (mm ²)	11,065	16	6,667	17	0,235
AC (mm ²)	10,530	16	16,765	17	0,914
AM (mm ²)	21,619	16	17,930	17	0,943
%AC	4,619	16	7,598	17	0,264
I_x (mm ⁴)	29,716	16	19,028	17	0,387
I_y (mm ⁴)	29,047	16	14,112	17	0,407
I_{max} (mm ⁴)	24,689	16	16,136	17	0,313
I_{min} (mm ⁴)	30,948	16	12,482	17	0,368
J (mm ⁴)	19,800	16	14,918	17	0,801
I_x/I_y	13,282	16	9,009	17	0,577
I_{max}/I_{min}	11,465	16	9,483	17	0,349

Tableau XXIV Asymétrie sexuelle bilatérale des propriétés géométriques de sections transverses humérales à 35% de la longueur biomécanique au sein de l'échantillon des Boileau.

Comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney

Radius

On note que pour la majorité des variables les sujets masculins ont des valeurs supérieures à celles des femmes excepté dans le cas de l'aire médullaire (deux côtés) et des ratios I_{\max}/I_{\min} (deux côtés) et I_x/I_y (côté droit). La comparaison des variables I_{\max}/I_{\min} met en évidence des différences statistiquement significatives avec $p=0,025$ (Tableau XXV). La diaphyse est structurellement plus faible à 50% chez les femmes puisque les hommes ont un pourcentage d'aire corticale plus important. Bien que la différence ne soit pas statistiquement significative, le seuil de significativité statistique est quasiment atteint du côté droit ($p=0,057$).

	Homme			Femme			Dimorphisme sexuel (%)	Signification du test statistique
	Moyenne	N	Ecart type	Moyenne	N	Ecart type	Homme-Femme*	p
Radius gauche								
AT (mm ²)	206,639	13	46,095	180,581	14	24,280	14,430	0,116
AC (mm ²)	171,604	13	41,374	136,269	14	22,727	25,931	0,022
AM (mm ²)	35,035	13	11,368	44,312	14	19,307	-20,937	0,280
%AC	82,890	13	5,168	75,646	14	9,156	9,576	0,025
I_x (mm ⁴)	35,296	13	17,102	25,269	14	9,032	39,684	0,025
I_y (mm ⁴)	46,268	13	15,618	39,398	14	12,954	17,439	0,239
I_{\max} (mm ⁴)	50,244	13	19,086	41,719	14	14,320	20,435	0,302
I_{\min} (mm ⁴)	31,322	13	11,568	22,947	14	8,324	36,498	0,025
J (mm ⁴)	81,566	13	30,394	64,667	14	21,688	26,132	0,116
I_x/I_y	0,762	13	0,221	0,641	14	0,081	18,725	0,094
I_{\max}/I_{\min}	1,602	13	0,187	1,857	14	0,348	-13,722	0,025
Radius droit								
AT (mm ²)	199,814	10	38,497	181,039	13	27,319	10,371	0,208
AC (mm ²)	162,130	10	34,667	136,262	13	22,640	18,984	0,057
AM (mm ²)	37,682	10	8,170	44,778	13	15,352	-15,848	0,483
%AC	80,902	10	3,569	75,334	13	6,717	7,391	0,036
I_x (mm ⁴)	31,483	10	11,330	26,822	13	9,448	17,380	0,343
I_y (mm ⁴)	45,874	10	13,746	39,838	13	15,339	15,150	0,257
I_{\max} (mm ⁴)	48,462	10	15,305	42,869	13	16,144	13,046	0,284
I_{\min} (mm ⁴)	28,893	10	9,744	23,791	13	7,947	21,446	0,257
J (mm ⁴)	77,356	10	23,927	66,660	13	23,919	16,046	0,284
I_x/I_y	0,691	10	0,144	0,695	13	0,155	-0,520	0,648
I_{\max}/I_{\min}	1,741	10	0,513	1,794	13	0,193	-2,946	0,115

Tableau XXV Propriétés géométriques et dimorphisme sexuel biomécanique radial à 50% de la longueur biomécanique au sein de l'échantillon de l'hypogée des Boileau. *[(homme – femme)/femme] ×100 et comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney

Un dimorphisme sexuel est mis en évidence pour le côté gauche lors de la comparaison des variables AC ($p=0,022$), %AC ($p=0,025$), I_x ($p=0,025$), I_{\min} ($p=0,025$) et I_{\max}/I_{\min} ($p=0,025$). Hormis pour I_{\max}/I_{\min} , les hommes possèdent des variables plus élevées. La diaphyse gauche des hommes est structurellement plus renforcée, en démontrant une résistance à la flexion significative par rapport au plan A-P (soit des contraintes M-L) et dont l'amplitude minimum est plus importante que chez les sujets féminins. La diaphyse masculine résiste par ailleurs mieux aux forces de compression et de tension axiales que celles des femmes. Par contre, chez ces dernières, la conformation générale de la diaphyse féminine est significativement distincte de

celle des hommes. Chez eux, ce sont donc à la fois l'intensité et la direction des contraintes qui remodelent le côté gauche tandis que chez les femmes il s'agit plus de l'amplitude des contraintes.

Concernant le côté droit, seul la comparaison du pourcentage d'aire corticale met en évidence un dimorphisme sexuel biomécanique ($p=0,036$). La diaphyse masculine est en effet plus structurellement renforcée à 50% que celle des femmes. On peut donc penser que l'intensité des contraintes est ici le point divergent significatif entre les sexes. Les contraintes subies s'effectuent principalement selon l'axe M-L avec un aplatissement A-P de la diaphyse selon les valeurs des ratios de conformation I_x/I_y .

Enfin, il a été relevé plusieurs individus atypiques après analyse de la distribution des données :

- 119 (homme, valeur éloignée haute) : aire corticale
- 133 (femme, valeur éloignée haute) : pourcentage d'aire corticale
- 158 (homme, valeur extrême haute) : ratio de conformation I_x/I_y .

III.1.4.2 *Variation des propriétés géométriques le long de la diaphyse selon le sexe et la latéralité*

Aire corticale

Chez les sujets féminins (Figure 27), l'antimère possédant l'aire corticale la plus élevée est le droit tout le long de la diaphyse. La valeur de cette variable à gauche s'en approche entre 20 et 35% car elle augmente. Entre 65 et 80%, elle s'en approche aussi car l'aire corticale diminue plus vite à droite qu'à gauche. Aucune asymétrie bilatérale statistiquement significative n'a été mise en évidence.

C'est le même schéma pour les sujets masculins, sauf qu'entre 65 et 80% l'aire corticale devient plus importante à gauche qu'à droite. On note certains individus atypiques lors de l'étude de la distribution des données de l'asymétrie bilatérale à 50% de la diaphyse radiale: 51 et 79 (femmes, valeurs extrêmes hautes). Aucune asymétrie bilatérale statistiquement significative n'a été observée.

Pourcentage de l'aire corticale

Entre 20 et 35%, il n'y a pas de latéralisation (Figure 27). Le %AC va ensuite passer d'une latéralisation à son contraire. Entre 35% et 50%, la latéralisation est à gauche puis à droite en partie proximale de la diaphyse. Aucune asymétrie bilatérale statistiquement significative n'est mise en évidence.

Chez les individus masculins, le %AC augmente jusqu'à mi-diaphyse pour le côté droit avant de chuter. La variable diminue plus rapidement et dès 35% du côté gauche. Entre 65 et 80%, la dominance latérale est droite à cause de cet affaiblissement plus prononcé de l'autre côté. Aucune asymétrie bilatérale statistiquement significative n'a été observée.

Moment quadratique polaire

De la partie distale à la mi-diaphyse, la latéralisation est à droite (Figure 27). Il y a ensuite une baisse de la robustesse du côté droit et de son augmentation à gauche. Entre 50 et 65%, la robustesse est équivalente chez les deux antimères. A partir de 65%, le côté gauche est plus robuste que le droit. Aucune asymétrie bilatérale statistiquement significative n'est mise en évidence.

Chez les sujets masculins, il n'y a une dominance du côté gauche qu'à partir de 35% et jusqu'au tiers proximal de la diaphyse. La robustesse baisse ensuite à gauche et devient plus importante à droite. Aucune asymétrie bilatérale statistiquement significative n'a été observée.

Certains individus possèdent une asymétrie atypique de J à 50% de la diaphyse radiale : 158 (homme, valeur extrême haute).

Ratio de conformation diaphysaire I_x/I_y

Chez les femmes, le ratio diaphysaire I_x/I_y subit une latéralisation entre 50% et 80% à droite (Figure 27). Entre 50 et 65%, les contraintes subies s'orientent selon l'axe A-P et la section tend vers la circularité. Les contraintes s'orientent plutôt selon un axe M-L jusqu'à la partie proximale de la diaphyse. A partir de 65%, il y a une inversion des contraintes et un

retour à un aplatissement A-P de la section. Aucune asymétrie bilatérale statistiquement significative n'est mise en évidence.

Chez les hommes, le schéma est le même. Cependant, les contraintes sont plus prononcées à gauche qu'à droite contrairement aux femmes. Aucune asymétrie bilatérale statistiquement significative n'a été observée.

Un individu possède une asymétrie atypique du ratio diaphysaire I_x/I_y : 158 (homme, valeur extrême haute).

Asymétrie bilatérale

Aucune asymétrie bilatérale ou dimorphisme de l'asymétrie bilatérale statistiquement significatif n'ont été mis en évidence. (Tableau XXVI). Les pourcentages d'asymétrie bilatérale masculins sont supérieurs à ceux des femmes excepté dans le cas de I_{\min} (3%) et AC (0,2%).

Variables	Homme			Femme			Signification du test statistique
	Moyenne	N	Ecart-type	Moyenne	N	Ecart-type	p
AT (mm ²)	9,45	8	10,62	8,17	9	3,92	0,481
AC (mm ²)	8,77	8	8,58	8,93	9	6,28	0,743
AM (mm ²)	55,88	8	52,90	29,51	9	26,96	0,236
%AC	7,41	8	5,68	6,47	9	5,64	0,673
I_x (mm ⁴)	34,60	8	68,52	27,02	9	20,44	0,370
I_y (mm ⁴)	15,49	8	12,15	12,33	9	6,66	0,815
I_{\max} (mm ⁴)	23,91	8	28,04	18,08	9	12,10	1
I_{\min} (mm ⁴)	16,44	8	29,23	19,79	9	16,55	0,423
J (mm ⁴)	20,62	8	27,10	18,25	9	9,51	0,277
I_x/I_y	19,48	8	17,43	17,54	9	15,70	0,236
I_{\max}/I_{\min}	14,71	8	12,82	13,62	9	13,10	0,963

Tableau XXVI Asymétrie sexuelle bilatérale des propriétés géométriques de sections transverses radiales à 50% de la longueur biomécanique au sein de l'échantillon des Boileau. Comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney

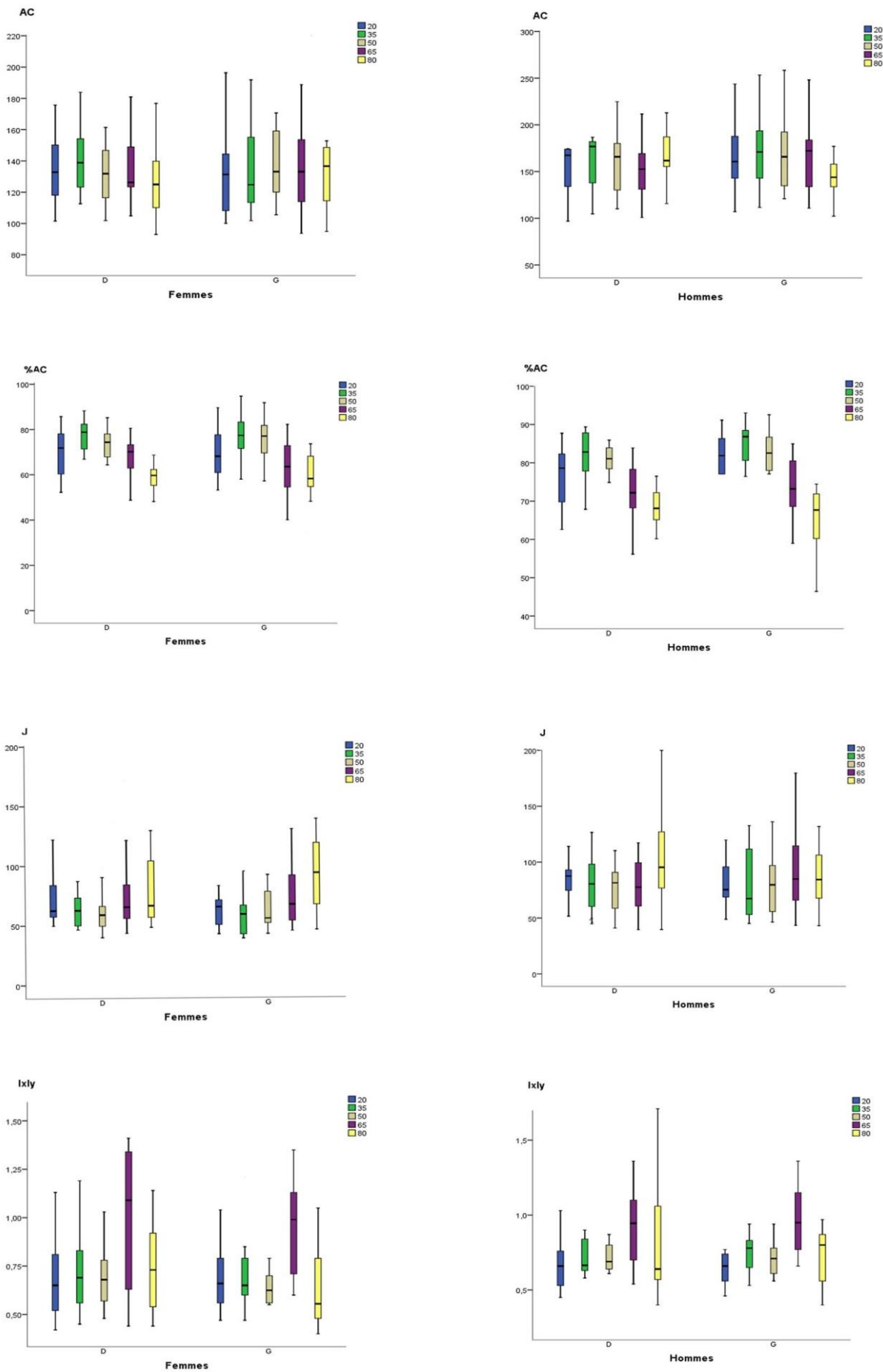


Figure 27 Variation des propriétés géométriques le long de la longueur biomécanique du radius (%) selon la latéralité (D et G) pour chaque sexe au sein de l'hypogée des Boileau. AC en mm^2 et J en mm^4

Ulna

Les valeurs des propriétés géométriques sont plus importantes chez les hommes que chez les femmes sauf dans le cas de l'aire médullaire et des ratios de conformation diaphysaire pour le côté gauche (Tableau XXVII). Aucun dimorphisme sexuel statistiquement significatif n'a été observé. Le pourcentage d'aire corticale est plus important chez les hommes et en tenant compte des valeurs de l'aire médullaire, la diaphyse à 50% est structurellement moins renforcée chez les femmes. Les contraintes subies par les femmes s'orientent légèrement plus selon l'axe A-P par rapport aux hommes et leur section est plus circulaire. Par ailleurs, l'amplitude des contraintes est moins étendue chez les femmes.

	Homme			Femme			Dimorphisme sexuel (%)	Signification du test statistique
	Moyenne	N	Ecart type	Moyenne	N	Ecart type		
Ulna gauche								
AT (mm ²)	222,520	12	43,396	196,072	17	21,825	13,489	0,190
AC (mm ²)	182,911	12	46,493	144,757	17	22,909	26,357	0,120
AM (mm ²)	39,608	12	12,807	51,316	17	19,636	-22,815	0,200
%AC	81,478	12	7,337	73,943	17	9,003	10,191	0,120
I _x (mm ⁴)	45,553	12	15,834	36,824	17	8,918	23,705	0,210
I _y (mm ⁴)	52,865	12	21,029	41,236	17	19,678	28,201	0,200
I _{max} (mm ⁴)	59,722	12	23,131	47,968	17	17,320	24,504	0,210
I _{min} (mm ⁴)	38,697	12	11,809	30,092	17	9,336	28,596	0,160
J (mm ⁴)	98,418	12	33,646	78,060	17	25,642	26,079	0,210
I _x /I _y	0,898	12	0,239	0,983	17	0,333	-8,608	0,720
I _{max} /I _{min}	1,533	12	0,333	1,610	17	0,264	-4,814	0,410
Ulna droit								
AT (mm ²)	233,064	9	46,166	203,096	16	34,296	14,756	0,150
AC (mm ²)	189,500	9	42,392	151,003	16	27,203	25,495	0,060
AM (mm ²)	43,563	9	10,885	52,095	16	14,153	-16,377	0,150
%AC	81,014	9	4,861	74,382	16	5,559	8,917	0,060
I _x (mm ⁴)	50,498	9	15,475	36,432	16	13,191	38,609	0,080
I _y (mm ⁴)	58,670	9	23,816	36,633	16	11,579	60,158	0,060
I _{max} (mm ⁴)	62,823	9	21,636	43,054	16	13,715	45,918	0,060
I _{min} (mm ⁴)	46,347	9	16,766	30,013	16	10,643	54,421	0,080
J (mm ⁴)	109,170	9	37,308	73,067	16	23,676	49,411	0,060
I _x /I _y	0,914	9	0,254	1,013	16	0,215	-9,740	0,210
I _{max} /I _{min}	1,394	9	0,242	1,455	16	0,223	-4,162	0,680

Tableau XXVII Propriétés géométriques et dimorphisme sexuel biomécanique ulnaire à 50% de la diaphyse au sein de l'échantillon de l'hypogée des Boileau. *[(homme – femme)/femme] ×100 et comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney

Pour le côté droit, les différences homme-femme sont faibles dans de nombreux cas bien que non significatives : AC (p=0,06), %AC (p=0,06), I_x (p=0,08), I_y (p=0,06), I_{max} (p=0,06), I_{min} (p=0,08) et J (p=0,06).

Certains individus sont atypiques suite à l'étude de la distribution des propriétés géométriques de cette section :

- 109 (femme, valeur éloignée haute) : aire corticale
- 109 (femme, valeur éloignée haute) : moment quadratique polaire J
- 62 (homme, valeur extrême haute) et 288 (femme, valeur éloignée haute) : ratio de conformation I_x/I_y .

Asymétrie bilatérale

Les pourcentages des sujets féminins de l'asymétrie bilatérale sont supérieurs à ceux des hommes pour AC (1%), %AC(1%), I_x (6%), I_y (2%), I_{max} (3%), I_{min} (2%), I_x/I_y (6%) et I_{max}/I_{min} (6%) (Tableau XXVIII). Aucune asymétrie bilatérale statistiquement significative n'a été observée.

Variables	Homme			Femme			Signification du test statistique <i>p</i>
	Moyenne	<i>N</i>	Ecart-type	Moyenne	<i>N</i>	Ecart-type	
AT (mm ²)	7,44	7	4,82	6,57	10	6,70	0,720
AC (mm ²)	8,67	7	3,63	9,80	10	11,22	0,830
AM (mm ²)	21,32	7	19,58	11,93	10	8,05	0,725
%AC	3,59	7	2,84	4,93	10	3,74	0,971
I_x (mm ⁴)	20,87	7	9,72	26,02	10	23,15	0,410
I_y (mm ⁴)	15,87	7	11,20	17,67	10	14,03	0,720
I_{max} (mm ⁴)	13,59	7	11,17	16,36	10	17,20	0,815
I_{min} (mm ⁴)	19,27	7	14,22	21,39	10	18,79	0,800
J (mm ⁴)	14,88	7	8,86	13,96	10	16,73	0,665
I_x/I_y	21,64	7	12,24	27,68	10	25,56	1,000
I_{max}/I_{min}	15,98	7	11,34	21,39	10	14,72	0,700

Tableau XXVIII Asymétrie sexuelle bilatérale des propriétés géométriques de sections transverses ulnaires à 50% de la longueur biomécanique au sein de l'échantillon des Boileau. Comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney

Fémur

Chez les femmes, les seules propriétés géométriques supérieures à celles des hommes sont l'aire médullaire et le ratio de conformation diaphysaire I_{max}/I_{min} de l'antimère gauche (Tableau XXIX). Aucun dimorphisme sexuel statistiquement significatif n'a été observé lors de la comparaison de ces variables, contrairement aux variables AC ($p=0,027$), %AC ($p=0,038$), I_{min}

($p=0,038$) et I_x/I_y ($p=0,038$). A mi-diaphyse, le fémur gauche des hommes est structurellement plus renforcé que celui des femmes et résiste plus fermement aux forces de compression et de tension axiales. Sa résistance à la flexion par rapport au plan A-P est plus importante. Les contraintes subites s'orientent plutôt selon l'axe A-P et la diaphyse subit un aplatissement M-L.

Du côté droit, un dimorphisme sexuel statistiquement significatif est mis en évidence lors de la comparaison des variables aire totale et aire corticale. Ces variables sont plus importantes chez les hommes ($p=0,024$ et $0,016$). La diaphyse des hommes résiste davantage aux forces de compression et de tension axiales. Elle est structurellement mieux renforcée que celle des femmes. La résistance à la flexion chez les hommes par rapport au plan A-P est plus élevée et les contraintes exercées s'orientent donc selon l'axe M-L principalement (I_x , $p=0,019$). Enfin, selon le ratio I_x/I_y masculin, les contraintes s'alignent selon l'axe A-P de manière significative. La section est aplatie médio-latéralement.

Il n'a pas été mis en évidence d'asymétrie bilatérale ou de dimorphisme de l'asymétrie.

	Homme			Femme			Dimorphisme sexuel (%)	Signification du test statistique
	Moyenne	N	Ecart type	Moyenne	N	Ecart type	Homme-Femme*	p
Fémur gauche								
AT (mm ²)	897,138	17	141,316	853,238	28	107,910	5,145	0,180
AC (mm ²)	687,741	17	128,152	616,602	28	107,791	11,537	0,027
AM (mm ²)	209,399	17	42,836	236,635	28	62,852	-11,510	0,220
%AC	76,334	17	4,995	72,105	28	7,114	5,865	0,038
I_x (mm ⁴)	240,549	17	55,931	199,012	28	55,784	20,871	0,057
I_y (mm ⁴)	225,130	17	50,051	207,347	28	60,551	8,577	0,130
I_{max} (mm ⁴)	258,046	17	56,449	226,383	28	64,183	13,987	0,160
I_{min} (mm ⁴)	208,557	17	44,206	179,975	28	45,266	15,882	0,038
J (mm ⁴)	460,132	17	106,434	406,358	28	106,996	13,233	0,101
I_x/I_y	1,078	17	0,151	0,978	28	0,201	10,239	0,038
I_{max}/I_{min}	1,246	17	0,130	1,256	28	0,151	-0,837	0,970
Fémur droit								
AT (mm ²)	933,787	13	123,709	837,007	30	119,046	11,563	0,024
AC (mm ²)	707,267	13	100,422	616,126	30	114,221	14,793	0,016
AM (mm ²)	226,521	13	50,574	220,881	30	55,122	2,553	0,640
%AC	75,740	13	4,211	70,971	30	14,512	6,720	0,230
I_x (mm ⁴)	249,065	13	61,559	198,769	30	62,180	25,303	0,019
I_y (mm ⁴)	221,965	13	47,922	199,342	30	64,157	11,349	0,130
I_{max} (mm ⁴)	260,659	13	61,828	218,326	30	70,368	19,390	0,061
I_{min} (mm ⁴)	210,372	13	40,499	179,786	30	53,451	17,012	0,061
J (mm ⁴)	471,032	13	99,034	398,113	30	121,794	18,316	0,057
I_x/I_y	1,134	13	0,204	1,011	30	0,164	12,213	0,040
I_{max}/I_{min}	1,233	13	0,143	1,211	30	0,129	1,780	0,700

Tableau XXIX Propriétés géométriques et dimorphisme sexuel biomécanique du fémur à 50% de la diaphyse au sein de l'échantillon de l'hypogée des Boileau. *[(homme – femme)/femme] ×100 et comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney

Après analyse de la distribution des variables, des individus sont atypiques :

- 170 (femme, valeur éloignée haute) et 89 (homme, valeur éloignée haute) : aire corticale
- 148-164 (femme, valeur éloignée haute) : pourcentage d'aire corticale
- 108 (femme, valeur éloignée haute) : moment quadratique polaire J
- 232 (homme, valeur éloignée haute) et 176, 217, 230, 233, 302 (femmes, valeurs éloignées hautes) : ratio de conformation I_x/I_y .

Tibia

Les valeurs des propriétés géométriques chez les hommes sont plus élevées que chez les femmes hormis du côté gauche très légèrement pour %AC et I_x/I_y et du côté droit pour AM (Tableau XXX). Aucun dimorphisme sexuel statistiquement significatif n'a été observé lors de la comparaison des variables sauf pour les propriétés géométriques I_x , I_{max} et J du côté gauche. Chez les hommes, pour le tibia gauche, la résistance à la flexion par rapport au plan A-P est plus importante et les contraintes subies s'orientent donc selon l'axe M-L. L'amplitude maximale des contraintes est plus élevée chez les sujets masculins (I_{max}). Enfin, la diaphyse résiste mieux aux forces de torsion et de flexion (J, $p=0,04$).

Aucune asymétrie bilatérale statistiquement significative n'a été observée.

	Homme			Femme			Dimorphisme sexuel (%)	Signification du test statistique
	Moyenne	N	Ecart type	Moyenne	N	Ecart type	Homme-Femme*	
Tibia gauche								
AT (mm ²)	820,746	13	117,730	731,919	20	108,225	12,136	0,120
AC (mm ²)	608,859	13	122,921	545,805	20	101,673	11,552	0,210
AM (mm ²)	211,887	13	83,745	186,113	20	56,214	13,849	0,230
%AC	74,099	13	8,515	74,444	20	6,654	-0,464	0,920
I_x (mm ⁴)	396,518	13	88,956	314,658	20	93,834	26,015	0,040
I_y (mm ⁴)	203,832	13	62,105	160,711	20	49,769	26,832	0,090
I_{max} (mm ⁴)	430,663	13	97,874	334,313	20	96,999	28,820	0,040
I_{min} (mm ⁴)	169,688	13	50,088	141,057	20	40,893	20,298	0,180
J (mm ⁴)	600,353	13	142,644	475,371	20	133,118	26,291	0,040
I_x/I_y	2,013	13	0,405	2,016	20	0,449	-0,158	0,920
I_{max}/I_{min}	2,619	13	0,464	2,414	20	0,403	8,525	0,250
Tibia droit								
AT (mm ²)	795,537	15	118,017	759,831	21	103,941	4,699	0,450
AC (mm ²)	624,320	15	108,414	573,923	21	115,832	8,781	0,320
AM (mm ²)	171,219	15	39,419	185,908	21	60,661	-7,901	1,000
%AC	78,287	15	5,403	75,209	21	8,074	4,093	0,610
I_x (mm ⁴)	396,905	15	138,107	322,268	21	77,693	23,160	0,320
I_y (mm ⁴)	187,488	15	39,763	175,010	21	65,137	7,130	0,430
I_{max} (mm ⁴)	420,398	15	132,611	343,037	21	92,222	22,552	0,320
I_{min} (mm ⁴)	163,996	15	40,554	154,239	21	44,460	6,326	0,920
J (mm ⁴)	584,392	15	168,732	497,276	21	131,505	17,519	0,320
I_x/I_y	2,107	15	0,516	1,970	21	0,529	6,966	0,510
I_{max}/I_{min}	2,546	15	0,402	2,272	21	0,434	12,047	0,320

Tableau XXX Propriétés géométriques et dimorphisme sexuel biomécanique du tibia à 50% de la diaphyse au sein de l'échantillon de l'hypogée des Boileau. *[(homme – femme)/femme] ×100 et comparaison homme/femme selon le test de Mann-Whitney

Il en va de même concernant l'asymétrie sexuelle bilatérale. Après analyse de la distribution des variables, des individus sont atypiques :

- 177 (homme, valeur éloignée haute) et 7 (homme, valeur éloignée basse) : aire corticale
- 7 (homme, valeur éloignée basse) : pourcentage d'aire corticale
- 30 (femme, valeur éloignée haute) et 230 (femme, valeur éloignée haute) : ratio de conformation I_x/I_y .

III.1.4.3 *Analyses multivariées des propriétés géométriques de sections transverses*

Le membre supérieur

Moment quadratique polaire

Afin de saisir l'ensemble des variations du membre supérieur sous l'effet des contraintes, il a été choisi de générer des ACP tenant compte des variations du moment quadratique polaire J le long des diaphyses. L'intégration des données issues de l'ulna et de celles de la section à 50% de l'humérus (tubérosité deltoïde) réduisent fortement la variance totale expliquée et multiplient les composantes. Nous avons donc choisi de ne pas les intégrer.

Au total, 20 individus ont été intégrés à l'ACP. Les trois premiers axes du plan factoriel expliquent 84,6% de la variance totale (Figure 28). Le premier axe est principalement construit par les variations de J de la partie distale jusqu'au milieu de la partie proximale de la diaphyse du radius (65%). Il traduit 59,3% de la variance totale. Cette dernière est expliquée à 13,7% par l'axe 2.

Celui-ci est construit principalement par les variations de J de la partie proximale au milieu de diaphyse distale de l'humérus (35%).

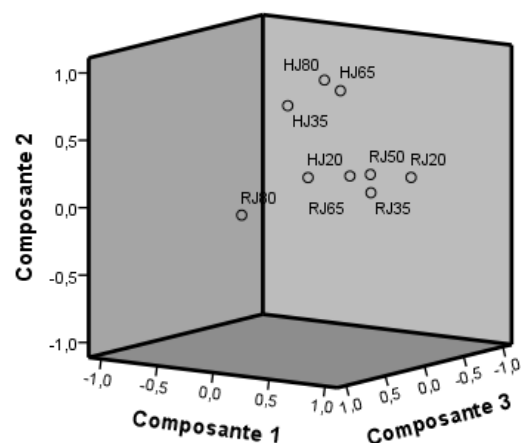


Figure 28 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les variations du moment quadratique polaire le long du membre supérieur des sujets de l'hypogée des Boileau

Enfin, le troisième axe explique 11,5% de la variance totale et est principalement défini par les variations de J en partie proximale du radius (80%) et distale de l'humérus (20%), soit autour de l'articulation du coude, près de l'articulation du biceps brachial sur le radius.

Des corrélations fortes et significatives existent entre les valeurs radiales de J, excepté à 80%. Il en va de même pour les valeurs de J humérale de 35 à 80%.

Les individus sont dispersés selon les trois axes (Figure 29). Les sujets à valeur positive selon l'axe 1 auront une meilleure résistance aux forces de torsion et de flexion de la partie distale de la diaphyse radiale jusqu'au milieu de la partie proximale. Ceux concernés par ce cas le long de l'axe 2 auront un humérus plus rigide de la partie proximale jusqu'au milieu de la diaphyse distale. Enfin, le long de l'axe 3 les individus à valeurs positives subiront une rigidité accrue de l'humérus et du radius autour de l'articulation du coude. L'individu 89 est particulièrement dans ce cas, possédant une rigidité moyenne pour le reste de son membre supérieur. L'individu 177 démontre une résistance supérieure de la partie distale jusqu'à la partie proximale de la diaphyse du radius. L'individu bleu rayé I est isolé la long de l'axe 1 à l'opposé de l'individu 177. L'individu 163 est dans ce cas pour l'humérus de la partie proximale jusqu'au milieu de la diaphyse distale. Enfin, l'individu 27 est celui possédant les valeurs négatives le long de l'axe 3. Il n'y a pas de regroupement selon le sexe.

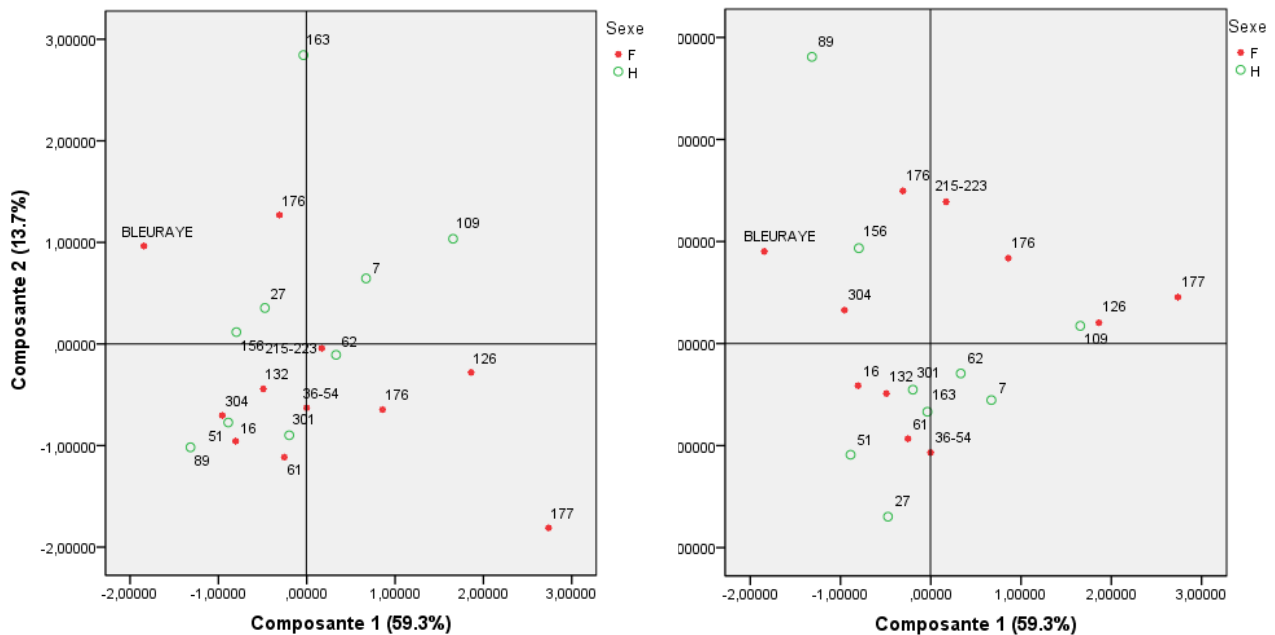


Figure 29 Projection du nuage de points selon les trois premières composantes issues de l'ACP intégrant les variations du moment quadratique polaire le long du membre supérieur des sujets de l'hypogée des Boileau

Le ratio de conformation I_x/I_y

Les données de l'ulna n'ont pas été intégrées ici aussi afin d'expliquer au mieux la variance totale de l'échantillon.

Il y a 20 individus intégrés à cette ACP. Les trois premiers axes du plan factoriel expliquent 68,9% de la variance totale (Figure 30). Le premier axe est principalement construit par les variations du ratio I_x/I_y à 20 et 65% et de manière négative par celles de 80% du radius et à 35% de l'humérus. Il traduit 29,6% de la variance totale. Cette dernière est expliquée à 21,8% par l'axe 2. Celui-ci est construit principalement par les variations du ratio I_x/I_y de 35% à 50% du radius. Enfin, le troisième axe explique 17,4% de la variance totale et est principalement défini par les variations du ratio I_x/I_y de la partie proximale de l'humérus (de 65 à 80%).

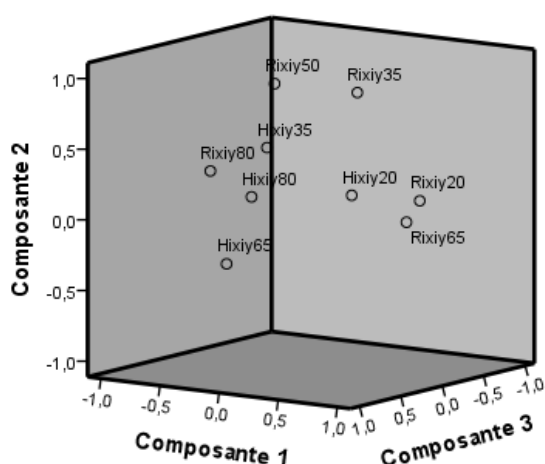


Figure 30 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les variations du ratio de conformation I_x/I_y , le long du membre supérieur des sujets de l'hypogée des Boileau

Les corrélations sont toutes moyennes à faibles entre les variables définissant les axes du plan factoriel.

Les individus ayant des valeurs positives le long de l'axe 1 subissent des contraintes plutôt selon l'axe A-P et un aplatissement M-L de la diaphyse radiale à 20 et 65%. Ils soutiennent des contraintes selon l'axe M-L et un aplatissement A-P à 80% du radius et à 35% de l'humérus (Figure 31). Le long de l'axe 2, les valeurs positives du ratio induisent un aplatissement M-L de la diaphyse du radius de 35% à 50%. Enfin, les sujets à valeurs positives le long de l'axe 3 subissent un aplatissement M-L de la diaphyse humérale de 65 à 80%. L'individu 27 possède les aplatissements M-L les plus prononcés selon les axes 2 et 3. L'individu 89 possède l'aplatissement M-L le moins prononcé selon l'axe 2. Il n'y a pas de regroupement selon le sexe. Les variations de conformation sont plus complexes que celle de la rigidité de l'os le long du membre supérieur. On remarque plusieurs regroupements :

- le long de l'axe 1, les individus 27, 36-54, 51, 59, 62 sont caractérisés par des valeurs négatives par rapport au reste de l'échantillon. Hormis le n° 27, ces individus sont masculins
- ces individus sont séparés en deux sous-groupes le long de l'axe 3
- l'individu 7 est caractérisé par des valeurs moyennes du ratio I_x/I_y d'après les trois axes.

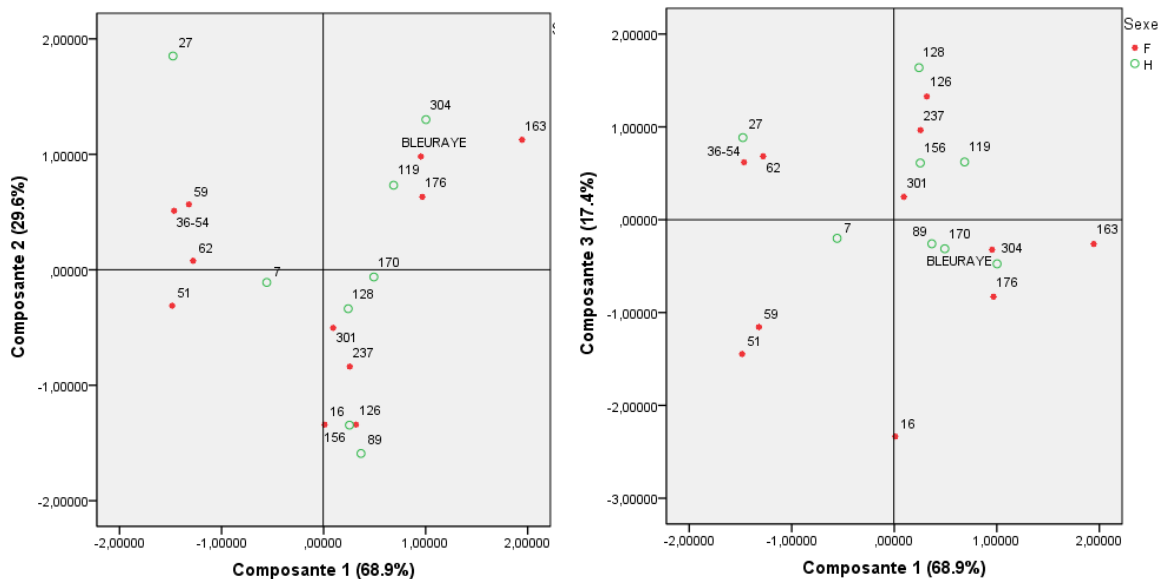


Figure 31 Projection du nuage de points selon les trois premières composantes issues de l'ACP intégrant les variations du ratio de conformation I_x/I_y le long du membre supérieur des sujets de l'hypogée des Boileau

Le membre inférieur

Moment quadratique polaire

Au total, 20 individus ont été intégrés à l'ACP. Les deux premiers axes du plan factoriel expliquent 77% de la variance totale (Figure 32). Le premier axe est construit principalement par les variations de J le long de la diaphyse du fémur. Il traduit 54,4% de la variance totale. Cette dernière est expliquée à 22,6% par l'axe 2. Celui-ci est principalement construit par les variations de J le long de la diaphyse du tibia.

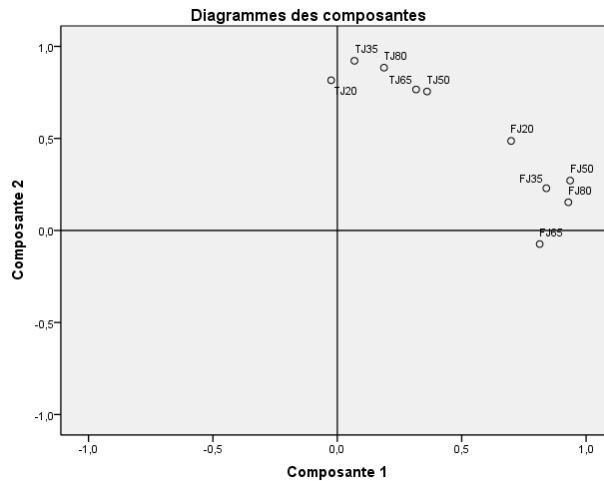


Figure 32 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les variations du moment quadratique polaire le long du membre inférieur des sujets de l'hypogée des Boileau

Des corrélations fortes à moyennes et significatives existent de FJ35 à 50% et 65%. Il en va de même de TJ80 à 50%.

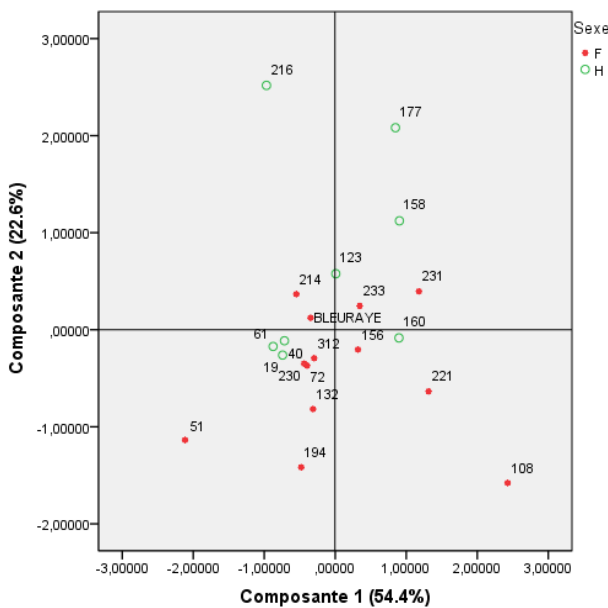


Figure 33 Projection du nuage de points selon les deux premières composantes issues de l'ACP intégrant les variations du moment quadratique polaire le long du membre inférieur des sujets de l'hypogée des Boileau

La dispersion n'indique pas de différenciation des sexes (Figure 33). Les sujets à valeur positive selon l'axe 1 sont caractérisés par une robustesse accrue de la diaphyse fémorale. Ceux concernés par ce cas le long de l'axe 2 auront un tibia plus rigide au niveau de la partie proximale. Les individus 177 et 216 sont les extrêmes positifs de ce cas, les individus 108 et 194 possèdent les tibias les moins robustes. L'individu 51 a le fémur le moins rigide et l'individu 108 est son extrême opposé.

Le ratio de conformation I_x/I_y

Il y a 20 individus qui ont été intégrés à cette ACP. Les trois premiers axes du plan factoriel expliquent 79,3% de la variance totale (Figure 34). Le premier axe est principalement construit par les variations du ratio I_x/I_y du tibia. Il traduit 38,5% de la variance totale. Cette dernière est expliquée à 24,9% par l'axe 2. Celui-ci est construit principalement par les variations du ratio I_x/I_y du fémur de la partie proximale à 35% de la diaphyse. Enfin, le troisième axe explique 15,8% de la variance totale et est principalement défini par les variations du ratio I_x/I_y de la diaphyse distale du fémur.

Les variations de la conformation du fémur sont distinctes entre la moitié proximale et distale de la diaphyse.

Les corrélations sont moyennes et significative de $T_{I_xI_y}80$ à 50% et de $F_{I_xI_y}20$ à 35%. Elles sont négatives entre $F_{I_xI_y}20-35$ et les autres ratios fémoraux et tibiaux.

Les individus ne subissent pas de regroupement selon le sexe (Figure 35). Les individus ayant des valeurs positives le long de l'axe 1 subissent des contraintes plutôt selon l'axe A-P et un aplatissement M-L de la diaphyse tibiale. Le long de l'axe 2, les valeurs positives du ratio induisent un aplatissement M-L de la partie proximale jusqu'à 35% de la diaphyse fémorale. Enfin, les sujets à valeurs positives le long de l'axe 3 subissent un aplatissement M-L de la diaphyse distale fémorale. Le long de l'axe 1, les individus 160 et 230 possèdent l'aplatissement M-L le plus développé. L'individu 108 possède l'aplatissement M-L le plus prononcé selon l'axe 2, l'individu 256 selon l'axe 3. Concernant les variations des différentes parties de la diaphyse fémorale, la plupart des sujets possèdent un aplatissement M-L faible, voire même plutôt A-P que M-L concernant la partie distale de la diaphyse par rapport à un plus grand développement de l'aplatissement M-L pour le reste de la diaphyse.

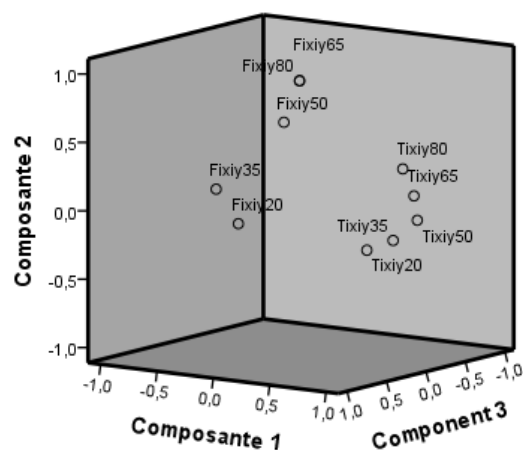


Figure 34 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les variations du ratio de conformation I_x/I_y le long du membre inférieur des sujets de l'hyogée des Boileau

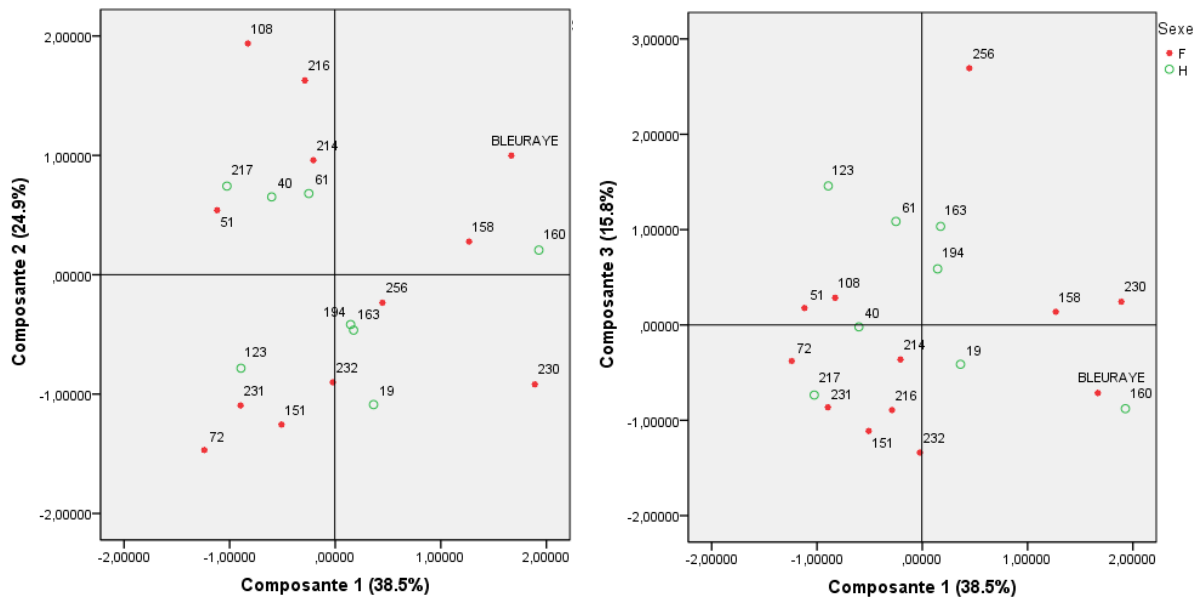


Figure 35 Projection du nuage de points selon les deux premières composantes issues de l'ACP intégrant les variations du ratio de conformation Ix/Iy le long du membre inférieur des sujets de l'hypogée des Boileau

III.2 Comparaison du développement des différents indicateurs de l'activité

III.2.1 Comparaison des indicateurs paléopathologiques et morphologiques: lésions enthésopathiques et géométrie de section

Avant de comparer les deux indicateurs de l'activité, nous allons nous pencher sur la relation de ces deux paramètres au sein de chaque sexe et entre les sexes. Nous chercherons ensuite s'il existe des corrélations entre les indicateurs avant d'étudier plus précisément leur éventuelle correspondance.

Humérus

La comparaison des variables moment quadratique polaire J et enthèses ne met en évidence aucune asymétrie bilatérale statistiquement significative au sein des groupes sexuels (Tableau XXXI et Tableau XXXII). Concernant les enthèses, aucun groupe ne se distingue significativement des autres.

	N		Minimum		Maximum		Moyenne		Ecart-type		Signification du test statistique
	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	p
Femme											
HJ80	29	20	134,15	129,45	452,75	472,66	265,40	261,59	95,85	88,44	,830
HJ65	29	20	140,45	125,44	368,66	378,58	228,67	235,44	78,23	71,16	,890
HJ50	29	20	122,66	122,50	312,31	376,09	193,74	205,24	62,50	56,87	,670
HJ35	29	20	109,52	111,17	372,07	368,69	203,85	222,87	78,35	68,99	,670
HJ20	29	20	111,57	112,58	500,61	560,19	237,05	289,48	92,99	141,54	,670
Homme											
HJ80	28	22	166,77	188,84	576,85	440,92	338,02	321,95	101,74	71,08	,760
HJ65	28	22	137,98	173,96	485,31	386,05	284,22	280,27	86,84	55,68	,960
HJ50	28	22	109,21	150,80	340,21	325,58	239,95	238,99	64,90	50,43	,960
HJ35	28	22	142,96	145,75	359,83	375,77	243,29	239,21	61,85	59,80	,960
HJ20	28	22	131,13	187,97	546,06	678,69	336,15	346,42	108,47	124,18	,960

Tableau XXXI Statistiques descriptives des variations du moment quadratique polaire le long de la diaphyse humérale des sujets de l'hypogée des Boileau d'après le sexe et la latéralité. Comparaison des variables selon le test de Mann-Whitney

	n/N		Présence		Signification du test statistique
	Droit	Gauche	Droit	Gauche	p-valeur
Femme					
HSC	9/29	5/20	7%	9%	,670
HSI	10/29	5/20	10%	0%	1
HEM	24/29	20/20	14%	14%	,440
HEL	23/29	19/20	10%	9%	,670
HGP	27/29	19/20	17%	9%	,830
HDE	29/29	19/20	10%	14%	,720
Homme					
HSC	13/28	9/22	25%	7%	,670
HSI	9/28	8/22	0%	4%	
HEM	25/28	17/22	25%	7%	,960
HEL	18/28	15/22	30%	4%	,760
HGP	24/28	19/22	20%	11%	,760
HDE	26/28	20/22	10%	18%	,960

Tableau XXXII Fréquences générales d'apparition des enthésopathies humérales des sujets de l'hypogée des Boileau d'après le sexe et la latéralité. Comparaison des variables selon le test de Fisher

Les sujets masculins possèdent des valeurs de J supérieures à celles des femmes des deux côtés. Ces différences ne sont statistiquement significatives que lors de la comparaison de la variable J à 80% du côté droit (Tableau XXXIII). Un dimorphisme sexuel de l'asymétrie bilatérale est donc mis en évidence du côté droit à cette section pour J. Les différences homme-femme sont basses pour le reste du côté droit et entre J20 et J80% à gauche (0,09). Il n'est pas mis en évidence de dimorphisme sexuel de l'asymétrie bilatérale selon le groupe des enthèses, considérées selon le classement de Villotte (2008a).

Chez les sujets masculins, du côté gauche, une seule corrélation inverse significative est mise en évidence entre HSC (insertion du muscle subscapulaire) et J (robustesse générale de la section) à 20% (p=0,03). Cette enthèse appartient au groupe 1 lié à l'activité (Villotte 2008a).

Aucune corrélation significative n'a été mise en évidence entre le moment quadratique polaire J le long de la diaphyse et les enthésopathies de l'humérus quel que soit leur groupe pour les sujets féminins.

Humérus droit	Signification du test statistique	Humérus gauche	Signification du test statistique
HJ20	,090	HJ20	,090
HJ35	,090	HJ35	,090
HJ50	,090	HJ50	,090
HJ65	,090	HJ65	,600
HJ80	,050	HJ80	,150
HSC	,770	HSC	1
HSI	,770	HSI	1
HEM	,810	HEM	,720
HEL	,720	HEL	,770
HGP	1	HGP	1
HDE	1	HDE	1

Tableau XXXIII Dimorphisme sexuel de l'asymétrie bilatérale des lésions enthésopathiques et du moment quadratique polaire J le long de l'humérus des sujets de l'hyogée des Boileau. Comparaison des variables selon les tests de Mann-Whitney (pour J) et de Fisher (enthésopathies)

Les résultats des équations d'estimation généralisées (GEE) indiquent une corrélation significative entre J à 20% et la latéralité du développement des enthèses du groupe 1 ($p=0,014$). Le facteur sexe n'a pas d'influence (Tableau XXXIV). La comparaison des antimères est significative ce qui indique que la probabilité de développer des lésions enthésopathiques est plus importante du côté droit que du gauche. Le côté droit étant le plus souvent dominant, il peut s'agir d'une asymétrie bilatérale à ce niveau de la section due à l'utilisation préférentielle d'un bras par rapport à l'autre. C'est l'unique cas où l'un des facteurs possède une influence significative sur le développement des enthèses. En effet, l'interaction des facteurs âge et sexe n'a pas non plus d'influence significative sur ce dernier.

Les variations du moment quadratique polaire le long de la diaphyse n'ont pas d'influence significative sur le développement des enthèses à l'échelle de l'os.

HJ20	Coefficient	Erreur type	IC 95%		Z	Signification du test statistique
Constante	-2,420	0,501	-3,402	-1,438	-4,830	<,0001
Sexe (Ref="H")	0,285	0,452	-0,602	1,171	0,630	0,529
Latéralité (Ref="G")	0,490	0,199	0,099	0,881	2,460	0,014
J	0,001	0,001	-0,002	0,004	0,800	0,425
Hj35						
Constante	-1,865	0,671	-3,179	-0,551	-2,780	0,005
Sexe (Ref="H")	0,355	0,448	-0,523	1,233	0,790	0,428
Latéralité (Ref="G")	0,360	0,257	-0,144	0,863	1,400	0,162
J	-0,001	0,003	-0,006	0,005	-0,280	0,776
HJ50						
Constante	-1,737	0,708	-3,125	-0,349	-2,450	0,014
Sexe (Ref="H")	0,382	0,457	-0,514	1,277	0,840	0,403
Latéralité (Ref="G")	0,364	0,257	-0,140	0,867	1,420	0,157
J	-0,002	0,003	-0,008	0,005	-0,460	0,643
HJ65						
Constante	-1,949	0,671	-3,265	-0,633	-2,900	0,004
Sexe (Ref="H")	0,345	0,455	-0,546	1,237	0,760	0,447
Latéralité (Ref="G")	0,367	0,258	-0,138	0,873	1,420	0,155
J	0,000	0,003	-0,005	0,005	-0,140	0,887
HJ80						
Constante	-1,909	0,605	-3,095	-0,723	-3,150	0,002
Sexe (Ref="H")	0,358	0,459	-0,542	1,258	0,780	0,436
Latéralité (Ref="G")	0,374	0,260	-0,137	0,884	1,430	0,152
J	-0,001	0,002	-0,004	0,003	-0,240	0,811

Tableau XXXIV Modèle final de l'analyse par GEE de la relation entre les lésions enthésopathiques et le moment quadratique polaire le long de la diaphyse de l'humérus des sujets de l'hypogée des Boileau. IC : intervalle de confiance.

Fémur

Il n'apparaît aucune asymétrie bilatérale des moments quadratiques polaires et du développement des enthèses le long du fémur (Tableau XXXV et Tableau XXXVI). De plus, aucun groupe d'enthèses ne se distingue significativement des autres. Il n'a pas été mis en évidence de dimorphisme sexuel de l'asymétrie bilatérale pour aucun des deux indicateurs de l'activité.

	N		Minimum		Maximum		Moyenne		Ecart-type		Signification du test statistique
	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	p
Femme											
HJ80	29	20	134,15	129,45	452,75	472,66	265,40	261,59	95,85	88,44	,830
HJ65	29	20	140,45	125,44	368,66	378,58	228,67	235,44	78,23	71,16	,890
HJ50	29	20	122,66	122,50	312,31	376,09	193,74	205,24	62,50	56,87	,670
HJ35	29	20	109,52	111,17	372,07	368,69	203,85	222,87	78,35	68,99	,670
HJ20	29	20	111,57	112,58	500,61	560,19	237,05	289,48	92,99	141,54	,670
Homme											
HJ80	28	22	166,77	188,84	576,85	440,92	338,02	321,95	101,74	71,08	,760
HJ65	28	22	137,98	173,96	485,31	386,05	284,22	280,27	86,84	55,68	,960
HJ50	28	22	109,21	150,80	340,21	325,58	239,95	238,99	64,90	50,43	,960
HJ35	28	22	142,96	145,75	359,83	375,77	243,29	239,21	61,85	59,80	,960
HJ20	28	22	131,13	187,97	546,06	678,69	336,15	346,42	108,47	124,18	,960

Tableau XXXV Statistiques descriptives des variations du moment quadratique polaire le long de la diaphyse fémorale des sujets de l'hypogée des Boileau d'après le sexe et la latéralité. Comparaison des variables selon le test de Mann-Whitney

	n/N		Présence		Signification du test statistique
	Droit	Gauche	Droit	Gauche	p
Femme					
FPF	25/39	29/38	16%	28%	,690
FMF	23/39	22/38	17%	18%	1
FIP	29/39	28/38	10%	11%	1
FLA	27/39	36/38	16%	8%	,740
FGF	35/39	35/38	46%	37%	,740
Homme					
FPF	11/15	15/19	36%	27%	,740
FMF	9/15	13/19	33%	8%	,630
FIP	12/15	18/19	17%	17%	1
FLA	15/15	19/19	20%	26%	1
FGF	12/15	17/19	27%	47%	,740

Tableau XXXVI Fréquences générales d'apparition des enthésopathies fémorales des sujets de l'hypogée des Boileau d'après le sexe et la latéralité. Comparaison des variables selon le test de Fisher

Chez les sujets masculins, des corrélations significatives apparaissent à droite :

- entre FPF (insertion du petit fessier) et J à 65% ($p=0,03$) et J à 80% ($p=0,013$)
- entre FIP (insertion de l'ilio-psoas) et J à 50% ($p=0,02$).

Ces enthèses appartiennent au groupe 1 lié à l'activité (Villotte 2008a). Pour les femmes, la seule corrélation significative correspond à J à 20% et FMF (insertion du moyen fessier) avec $p=0,02$. Cette enthèse appartient aussi au premier groupe.

Aucun des deux facteurs et ni leur interaction n'ont d'influence significative sur le développement des enthèses d'après les résultats des GEE (Tableau XXXVII).

Comme pour l'humérus, les variations du moment quadratique polaire le long de la diaphyse n'ont pas d'influence significative sur le développement des enthèses. L'analyse avec les valeurs non standardisées de J amène à une hypothèse similaire.

HJ20	Coefficient	Erreur type	IC 95%		Z	Signification du test statistique
Constante	-1,539	0,571	-2,657	-0,420	-2,700	0,007
Sexe (Ref="H")	0,333	0,325	-0,303	0,970	1,030	0,305
Latéralité (Ref="G")	0,001	0,233	-0,455	0,457	0,000	0,997
J	0,000	0,001	-0,001	0,002	0,360	0,717
HJ35						
Constante	-1,581	0,572	-2,703	-0,459	-2,760	0,006
Sexe (Ref="H")	0,317	0,330	-0,330	0,964	0,960	0,337
Latéralité (Ref="G")	-0,009	0,233	-0,467	0,448	-0,040	0,968
J	0,001	0,001	-0,002	0,003	0,440	0,657
HJ50						
Constante	-1,655	0,644	-2,917	-0,393	-2,570	0,010
Sexe (Ref="H")	0,303	0,335	-0,354	0,959	0,900	0,367
Latéralité (Ref="G")	-0,001	0,233	-0,458	0,455	-0,010	0,996
J	0,001	0,002	-0,002	0,004	0,510	0,611
HJ65						
Constante	-1,338	0,647	-2,605	-0,070	-2,070	0,039
Sexe (Ref="H")	0,349	0,334	-0,305	1,003	1,040	0,296
Latéralité (Ref="G")	-0,005	0,233	-0,462	0,452	-0,020	0,983
J	0,000	0,001	-0,003	0,003	-0,020	0,987
HJ80						
Constante	-1,338	0,647	-2,605	-0,070	-2,070	0,039
Sexe (Ref="H")	0,349	0,334	-0,305	1,003	1,040	0,296
Latéralité (Ref="G")	-0,005	0,233	-0,462	0,452	-0,020	0,983
J	-0,0024	0,1409	-0,279	0,2737	-0,02	0,9865

Tableau XXXVII Modèle final de l'analyse par GEE de la relation entre les lésions enthésopathiques et le moment quadratique polaire le long de la diaphyse du fémur des sujets de l'hypogée des Boileau. IC : intervalle de confiance.

III.2.2 Comparaison de deux indicateurs morphologiques : la géométrie de section et les caractères morphologiques ostéoarticulaires

Humérus

Les caractères morphologiques ostéoarticulaires (CMO) du membre supérieur confrontés aux variations de J sont : l'acromion bipartite (scapula) et la syndesmose sternale (clavicule). Il n'a pas été mis en évidence de corrélation entre les variations du moment quadratique polaire le long de la diaphyse et le développement des caractères morphologiques ostéoarticulaires du membre supérieur.

De plus, les variations du ratio de conformation diaphysaire I_x/I_y n'ont pas non plus d'incidence sur ce phénomène.

Fémur

Au sein des groupes sexuels, il n'apparaît pas d'asymétrie bilatérale significative des CMO du membre inférieur. De même, il n'y a pas de dimorphisme sexuel significatif de l'asymétrie bilatérale des CMO. Concernant les variations de J, pour les sujets masculins, des corrélations significatives fortes ont été mise en évidence entre :

- à droite : le développement des facettes de Charles (fémur) et J à 65% (p=0,03) et à 50% (p=0,03)
- à gauche : le développement des empreintes tibiales (fémur) et J à 65% (p=0,03) et à 50% (p=0,03)

Chez les sujets féminins, les corrélations significatives fortes apparaissent entre :

- à droite : de manière négative entre le développement des facettes d'accroupissement médiales (tibia) et J à 65% (p=0,02) et entre le développement de l'extension de la surface articulaire de la tête fémorale et J à 35% et 20% (p-valeurs égales à 0,04)
- à gauche : le développement des facettes d'accroupissement médiales (talus) et J à 65% (p=0,05)

De plus, des corrélations significatives fortes entre les variations du ratio de conformation diaphysaire I_x/I_y et les CMO du membre inférieur ont été notées pour les sujets féminins :

- à droite, toutes négatives : développement des facettes de Charles et J à 20% (p=0,009) et 50% (p=0,001), développement des empreintes tibiales et J à 20% (p=0,04) et 35% (p=0,05), développement des facettes d'accroupissement latérales (tibia) et J à 20% (p=0,02) et 50% (p=0,04)
- à gauche : développement des empreintes tibiales et J à 50% (p=0,001) et de manière négative le développement des facettes de Charles et J à 35% (p=0,04)

Il semble donc que les variations de J le long du fémur soient liées à des postures impliquant la flexion du membre inférieur ayant des répercussions au niveau des chevilles et des genoux et à des mouvements d'abduction/adduction de la hanche.

Les variations du ratio de conformation diaphysaire I_x/I_y sont quant à elles en relation avec une posture impliquant la flexion du membre inférieur ayant des répercussions au niveau des chevilles et de la hanche.

III.2.3 Comparaison de deux indicateurs morphologiques : la géométrie de section et les indices anatomiques

Trop peu d'ossements sont assez bien conservés pour présenter à la fois les indices anatomiques et les propriétés géométriques de section J et I_x/I_y . Il n'est donc pas possible statistiquement d'effectuer une comparaison de ces indicateurs de l'activité.

III.3 Analyse fonctionnelles des différents ensembles funéraires collectifs vaclusiens

III.3.1 Caractérisation biométrique inter-échantillons

L'analyse distincte des indices de robustesse et diaphysaire permet de renseigner une plus grande variance totale de l'échantillon à cause des états très variables de préservation et conservation entre les échantillons.

III.3.1.1 Analyse des indices de robustesse

Le membre supérieur

Sujets féminins

Treize sujets féminins composent cette ACP. Les individus de l'Ubac et du Capitaine ne possèdent pas assez de mesures et n'ont pas pu être intégrés. Les deux premiers axes factoriels renseignent 99,3% de la variance totale de l'échantillon (Figure 36). L'axe factoriel 1 explique 60,5% de la variance et est principalement construit par les indices de robustesse du radius et de l'ulna. La seconde composante traduit 38,8% de la variance et est principalement définie par l'indice de robustesse de l'humérus.

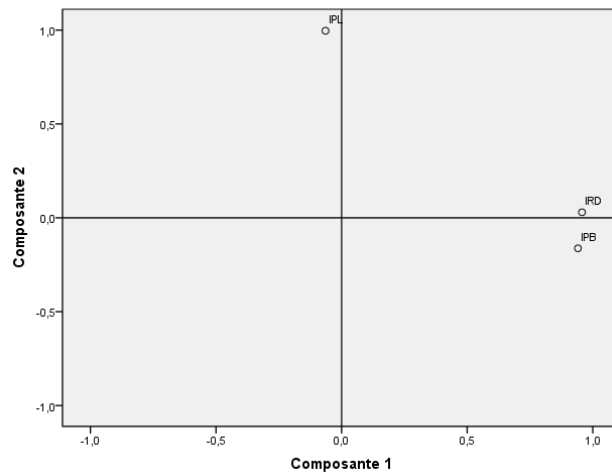


Figure 36 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les indices de robustesse des membres supérieurs féminins de l'échantillon inter-sites

Toutes les variables sont corrélées significativement.

Les individus sont rassemblés pour la plupart autour du centre du plan factoriel vers l'axe 2 (Figure 37). La première composante voit s'opposer les individus des Boileau 79, 156 et de Roaix 1230 à l'individu 301 des Boileau. Ce dernier possède des indices de robustesse du radius et de l'ulna plus élevés. Par ailleurs, sur l'axe 2, les individus des Boileau 301 et 234 s'opposent, le dernier ayant un indice de robustesse huméral plus important. Il semble y avoir un regroupement autour de la moyenne et de quelques individus (Boileau 79, 156 et Roaix 1230) possédant des indices de robustesse du membre supérieur faibles. L'individu 301 est particulier au vu de la faible robustesse de l'humérus vis-à-vis de l'avant-bras, ce qui est le contraire de l'individu 234.

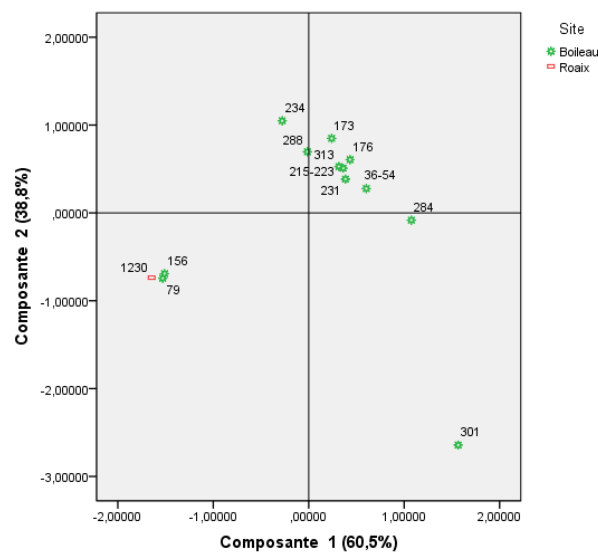


Figure 37 Projection du nuage de points sur les axes factoriels 1 et 2 issues de l'ACP intégrant les indices de robustesse des membres supérieurs féminins de l'échantillon inter-sites

Sujets masculins

Treize sujets masculins ont été intégrés à cette ACP. Les individus de l'hypogée du Capitaine et du dolmen de l'Ubac ne présentent pas assez de mesures et n'ont donc pas été incorporés. 99,7% de la variance totale de l'échantillon est traduite par les deux premiers axes factoriels (Figure 38). La première composante 1 est principalement définie par tous les indices de robustesse de l'humérus et de l'ulna et explique 51,6% de la variance quand la seconde composante renseigne 48,1% de la variance et est définie principalement par l'indice de robustesse du radius.

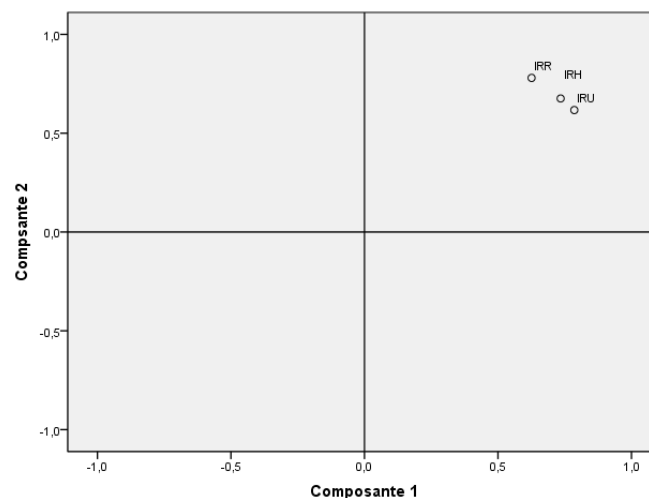


Figure 38 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les indices de robustesse des membres supérieurs masculins de l'échantillon inter-sites

Toutes les variables sont corrélées significativement.

La première composante permet de distinguer les individus des Boileau 128 et de Roaix 1098 à un amas d'individus des Boileau à l'opposé de l'axe (Figure 39). Ces deux sujets présentent des indices de robustesse de l'humérus et de l'ulna bien plus faibles. De plus, le long de l'axe 2, on peut opposer les individus des Boileau 119 et Rayé Bleu 1, le dernier ayant un indice de robustesse radial plus important. Quelques individus des Boileau présentent des indices de robustesse proches de la moyenne quand certains possèdent des particularités entre les os de l'avant-bras tels que Rayé Bleu I, 177, 119, 128 et Roaix 1098.

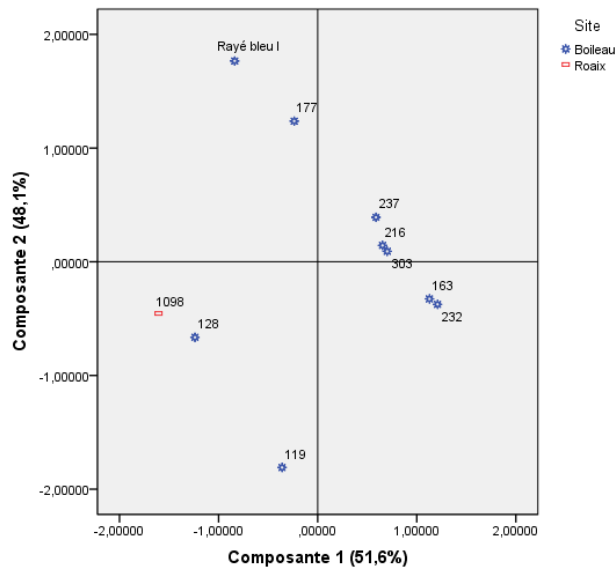


Figure 39 Projection du nuage de points sur les axes factoriels 1 et 2 issues de l'ACP intégrant les indices de robustesse des membres supérieurs masculins de l'échantillon inter-sites

Le membre inférieur

Sujets féminins

Un total de 21 sujets féminins ont été intégrés cette ACP. Les individus du Capitaine ne sont pas assez bien conservés et n'ont donc pas été incorporés. La variance totale de l'échantillon est expliquée à 98,6% par les deux premières composantes (Figure 40). En effet, la première composante 1 renseigne 57,5% de l'information et est définie par les indices de robustesse du fémur (diamètre) et du tibia. La seconde composante traduit 41,1% de la variance et est expliquée par l'indice de robustesse au périmètre du fémur négativement.

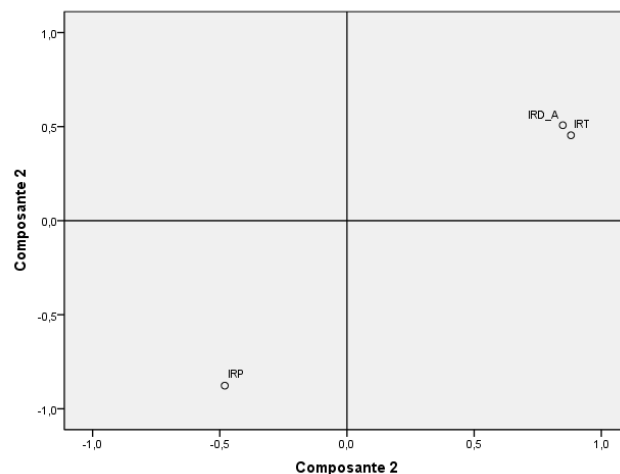


Figure 40 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les indices de robustesse des membres inférieurs féminins de l'échantillon inter-sites

Toutes les variables sont corrélées significativement. Il s'agit de signaler que l'indice de robustesse fémoral (périmètre) est corrélé de manière négative aux autres variables.

Les individus se répartissent autour du centre et le long de l'axe 2 principalement (Figure 41). Les individus de Roaix 1007 et des Boileau 51 se trouvent à l'opposé auprès de la première composante, le dernier présentant des indices du tibia et du fémur (diamètre) plus faibles que le premier. Par ailleurs, la seconde composante permet de distinguer l'individu de Roaix 1007 (indice de robustesse fémoral au périmètre important) à l'individu des Boileau 194. L'individu 1007 est isolé possédant les indices de robustesse les plus importants. On remarque un regroupement auprès de l'axe 2 dû aux variations de l'indice de robustesse fémorale (périmètre) avec un groupe dont les valeurs sont hautes et celles des autres indices basses et le contraire pour le second groupe. On ne peut pas parler d'un regroupement par site.

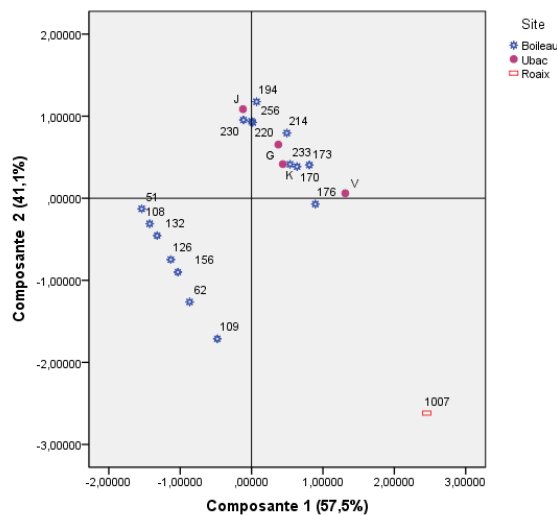


Figure 41 Projection du nuage de points sur les axes factoriels 1 et 2 issues de l'ACP intégrant les indices de robustesse des membres inférieurs féminins de l'échantillon inter-sites

Sujets masculins

Six individus masculins composent cette ACP provenant de l'hypogée des Boileau. Les deux axes factoriels expliquent 87,4% de la variance totale de l'échantillon (Figure 42). Ainsi, 52,4% de l'information est attribuable à l'axe 1 défini par les indices de robustesse du fémur (diamètre) et du tibia. L'axe 2 pour sa part renseigne 35% de la variance et est construit par l'indice de robustesse au périmètre du fémur négativement.

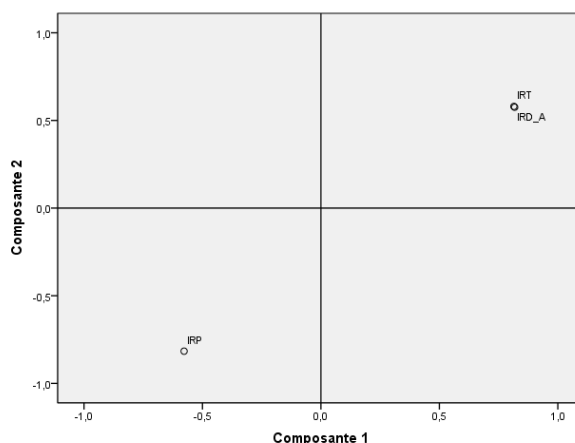


Figure 42 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les indices de robustesse des membres inférieurs masculins de l'échantillon inter-sites

Toutes les variables sont corrélées significativement mais l'indice de robustesse fémorale (périmètre) est corrélé de manière négative aux autres variables.

Les individus se répartissent de manière homogène dans le plan factoriel (Figure 43). Les individus 232 et 155 se distinguent auprès de l'axe 1 avec pour le premier des indices de robustesse du fémur (diamètre) et du tibia plus importants. L'axe 2 quant à lui fait remarquer les individus 40 et 303 s'opposant, le premier possédant un indice de robustesse fémorale (périmètre) plus important. Le seul regroupement visible est le fait de quelques individus ayant un indice de robustesse fémorale (périmètre) important et des valeurs moyennes pour les autres indices.

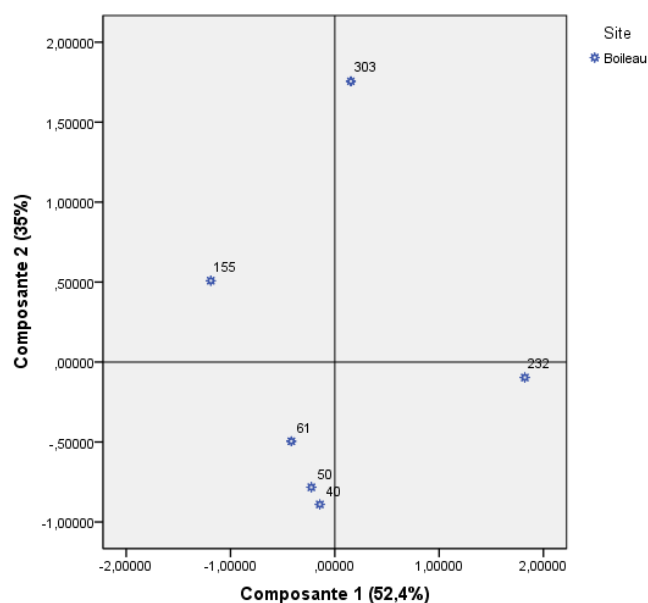


Figure 43 Projection du nuage de points sur les axes factoriels 1 et 2 issues de l'ACP intégrant les indices de robustesse des membres inférieurs masculins de l'échantillon inter-sites

III.3.1.2 *Analyse des indices diaphysaire*

Le membre supérieur

Sujets féminins

Dix-neuf sujets féminins ont été incorporés à cette analyse multifactorielle. Les deux premiers axes factoriels interprètent 94,1% de la variance totale de l'échantillon (Figure 36). La première composante traduit 60,1% de la variance et est principalement définie par les indices diaphysaires de l'humérus et du radius. La seconde composante explique 33,9% de la variance et est principalement construite par l'indice diaphysaire de l'ulna.

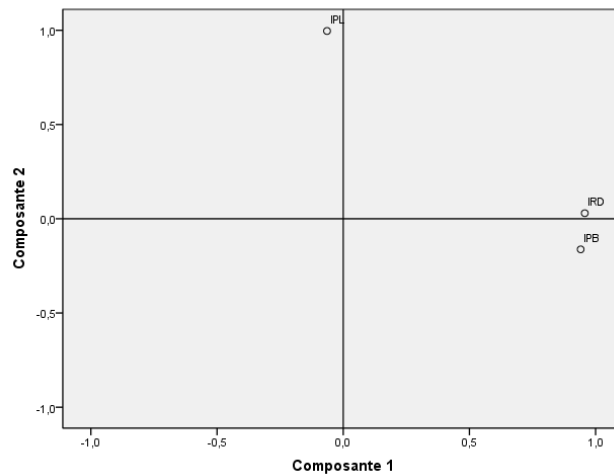


Figure 44 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les indices diaphysaire des membres supérieurs féminins de l'échantillon inter-sites

Seuls les indices diaphysaires huméral et radial sont corrélés significativement.

Les individus sont rassemblés pour la plupart autour du centre du plan factoriel le long de l'axe 2 (Figure 45). Les individus des Boileau 176 à l'individu 1230 de Roaix s'opposent le long de l'axe 1. Le dernier individu est caractérisé par des indices diaphysaires huméral et radial les plus importants. De plus le long de l'axe 2, l'individu du Capitaine 13129 possédant un indice diaphysaire de l'ulna faible s'oppose à 3260 de Roaix. On peut noter un regroupement des individus autour de la moyenne avec des indices diaphysaires de l'ulna faibles. Il existe aussi un regroupement des individus de Roaix entre eux et l'individu 176 des Boileau est isolé.

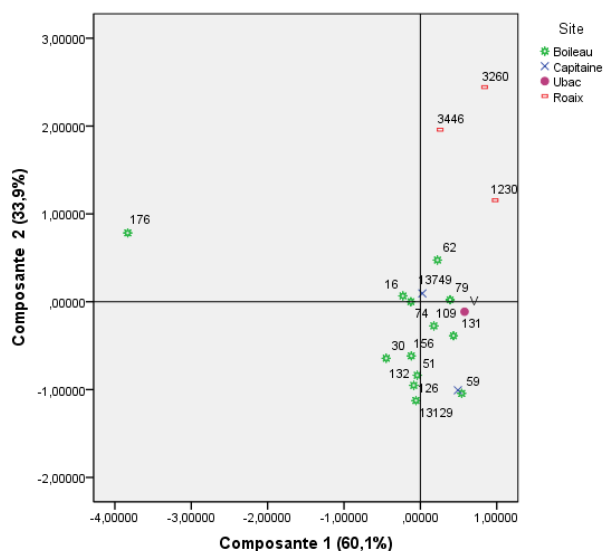


Figure 45 Projection du nuage de points sur les axes factoriels 1 et 2 issues de l'ACP intégrant les indices diaphysaires des membres supérieurs féminins de l'échantillon inter-sites

Sujets masculins

Quatorze sujets masculins ont été intégrés à cette ACP. Les individus du dolmen de l'Ubac ne présentent pas assez de mesures et n'ont donc pas été incorporés. Les deux premiers axes factoriels traduisent 97,2% de la variance totale de l'échantillon (Figure 46). L'axe 1 est construit principalement par l'indice diaphysaire radial et celui de l'humérus et renseigne 61,9% de la variance quand l'axe 2 explicite 35,9% de la variance et est principalement défini par l'indice diaphysaire de l'ulna.

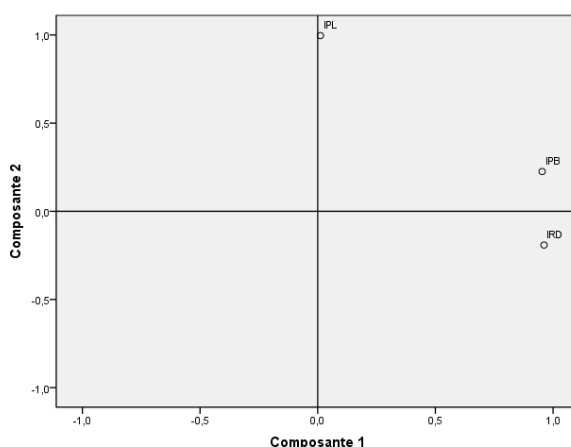


Figure 46 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les indices diaphysaires des membres supérieurs masculins de l'échantillon inter-sites

Seuls les indices diaphysaires du radius et de l'humérus sont corrélés significativement d'après la matrice des corrélations.

L'individu de Roaix 1334 et celui des Boileau 52 s'opposent le long de l'axe 1 à l'individu 303 des Boileau. Ce dernier fait état d'indices radial et huméral plus faibles que les deux premiers (Figure 47). Par ailleurs, auprès de l'axe 2, on peut opposer les individus des Boileau 52 et de Roaix 1334, le premier ayant un indice de robustesse ulnaire plus important. Quelques individus sont groupés autour de la moyenne quand les individus Roaix 1334 et Boileau 303 sont isolés. Il ne semble pas y avoir de regroupement selon les sites.

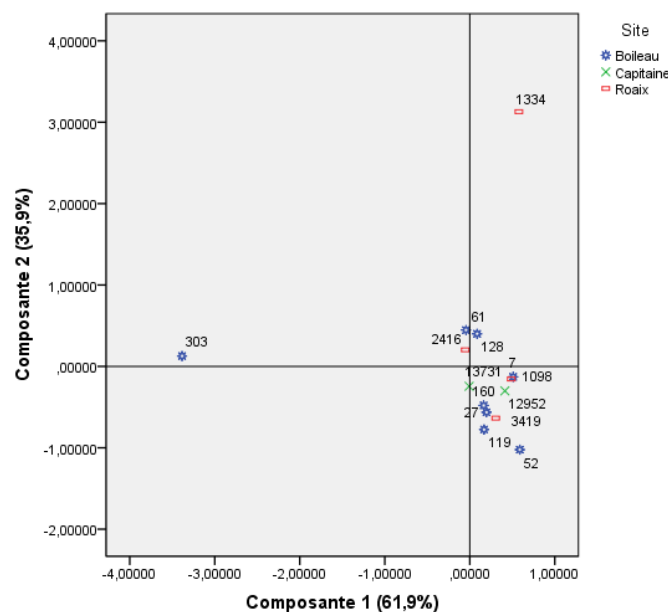


Figure 47 Projection du nuage de points sur les axes factoriels 1 et 2 issu de l'ACP intégrant les indices diaphysaires des membres supérieurs masculins de l'échantillon inter-sites

Le membre inférieur

Sujets féminins

Quatorze sujets féminins ont été incorporés à cette analyse multifactorielle. Seuls les individus de l'hypogée des Boileau et un sujet du dolmen de l'Ubac ont pu être intégrés.

C'est 77,4% de la variance totale de l'échantillon qui est explicitée par les deux premiers axes factoriels (Figure 48). La première composante traduit 50,3% de la variance et est principalement définie par l'indice pilastrique fémoral et négativement par l'indice de platymérie fémorale. Le second axe factoriel apporte 27,4% de l'information et est principalement construit par l'indice cnémique du tibia.

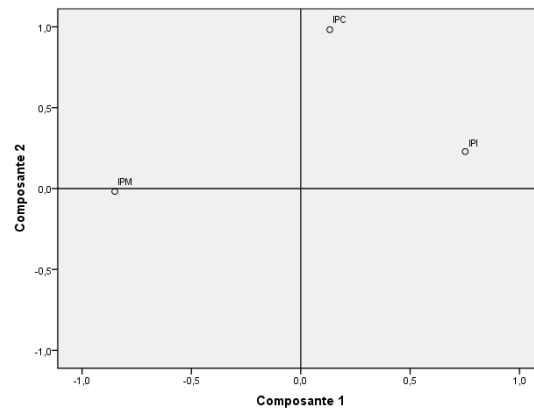


Figure 48 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les indices diaphysaire des membres inférieurs féminins de l'échantillon inter-sites

Aucune variable n'est corrélée de manière significative selon la matrice des corrélations.

Les individus sont rassemblés pour la plupart le long de l'axe 1 et auprès de la moyenne de l'axe 2 (Figure 49). Le long de l'axe 1 l'individu des Boileau 214 est opposé à 108, ce dernier possédant donc un indice pilastrique fémoral faible et un indice de platymérie fémorale important. De plus, l'individu de l'Ubac K se distingue par rapport à son opposé des Boileau 256 auprès de l'axe 2 et possède un indice cnémique élevé. Il semble y avoir un regroupement de trois individus des Boileau (173, 256 et 214) ayant un indice de platymérie fémorale important et un indice cnémique faible. Le sujet de l'Ubac K, à fort indices de platymérie fémorale et cnémique, semble isolé mais nous manquons d'individus de ce site pour véritablement trancher.

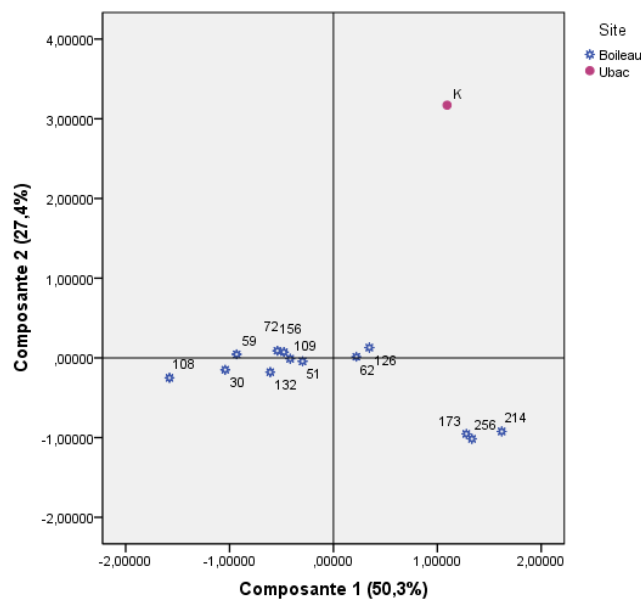


Figure 49 Projection du nuage de points sur les axes factoriels 1 et 2 issu de l'ACP intégrant les indices diaphysaires des membres inférieurs féminins de l'échantillon inter-sites

Sujets masculins

Cette analyse multifactorielle prend en compte 10 individus masculins. Seuls les individus de l'hypogée des Boileau ont pu être intégrés.

Les deux premières composantes interprètent 97,4% de la variance totale (Figure 50). Il y a 62,4% de la variance qui est renseignée par la première composante. Celle-ci est principalement construite par l'indice cnémique du tibia et l'indice de platymérie fémorale. La seconde composante restitue 35% de l'inertie et est principalement définie par l'indice pilastrique fémoral.

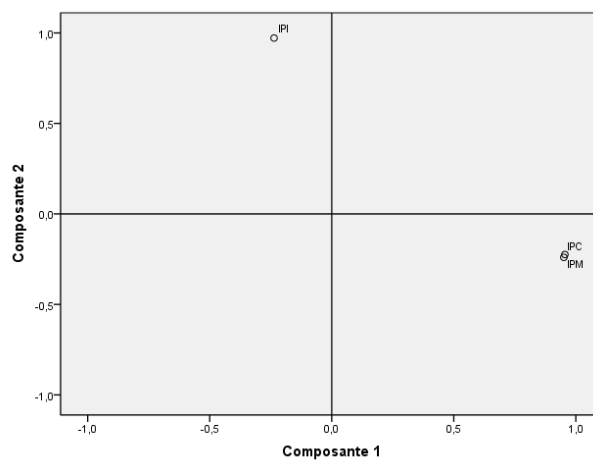


Figure 50 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les indices diaphysaire des membres inférieurs masculins de l'échantillon inter-sites

Les indices cnémique du tibia et de platymérie fémorale sont fortement corrélés de manière significative.

La Figure 51 montre que les individus sont dispersés le long l'axe 2 et auprès de la moyenne de l'axe 1. La première composante permet de distinguer l'individu 89 de l'individu opposé 232 qui est caractérisé par des indices cnémique tibial et de platymérie fémorale faibles. De l'autre côté, la seconde composante voit s'opposer l'individu 50 à faible indice pilastrique fémoral par rapport à l'individu 40. Si les valeurs des indices cnémique tibial et de platymérie fémorale sont proches de la moyenne pour la plupart des individus, ils se différencient par une variabilité plus importante au niveau de l'indice pilastrique fémoral.

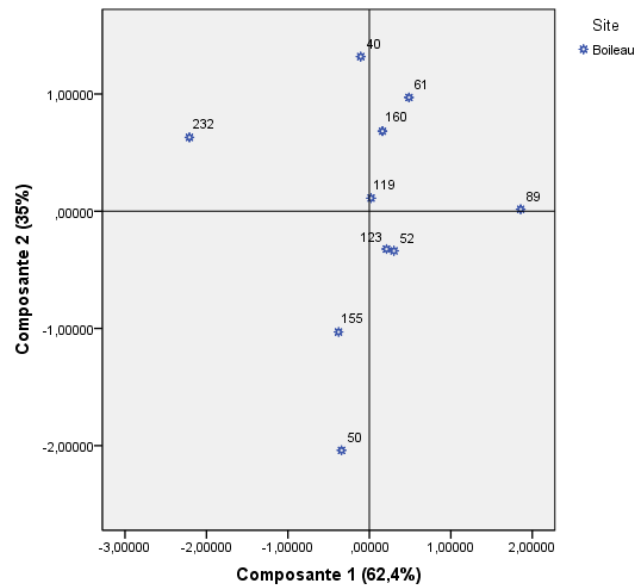


Figure 51 Projection du nuage de points sur les axes factoriels 1 et 2 issu de l'ACP intégrant les indices diaphysaires des membres inférieurs masculins de l'échantillon inter-sites

III.3.2 Observation des fréquences des caractères morphologiques ostéoarticulaires inter-échantillons

La ceinture scapulaire

Cette ACM intègre 44 sujets :

- Hypogée du Capitaine : 2
- Hypogée de Roaix : 7
- Dolmen de l'Ubac : 2
- Hypogée des Boileau : 33

L'échantillon Roaix semble être sensible au niveau de la scapula et celui de l'Ubac est isolé en périphérie (Figure 52). Les échantillons du Capitaine et des Boileau sont proches concernant l'atteinte négative de la scapula.

Il semble donc que les sujets de Roaix aient une sollicitation intensive des muscles de la coiffe des rotateurs et que ceux des Boileau aient une sollicitation intensive des muscles pectoraux et donc du ligament costo-claviculaire. Les sujets du Capitaine semblent solliciter de manière égale ces muscles.

Bien que la localisation de ces contraintes se situe au niveau de l'épaule, elles ne dérivent pas des mêmes modalités d'exécution puisque ce ne sont pas les mêmes muscles qui sont sollicités.

Néanmoins, il faut souligner le nombre restreint d'individus pour chaque site intégrés à ce test empêchant une analyse bivariée (hormis les Boileau) et la faible variance totale expliquée.

Le membre inférieur

Cette ACM intègre 48 sujets :

- Hypogée du Capitaine : 2
- Hypogée de Roaix : 7
- Dolmen de l'Ubac : 6
- Hypogée des Boileau : 33

Elle présente les relations entre les CMO du membre inférieur et les échantillons ostéologiques selon le sexe (Figure 53). Les facettes d'accroupissements apparaissant de concert sur le tibia et le talus, on peut penser que si leurs modalités « présence-absence » sont éloignées cela est dû à une mauvaise conservation. On remarque un groupement des modalités autour de l'origine du plan factoriel pour les femmes. Il concentre de manière générale l'absence des CMO et les échantillons des Boileau, Capitaine et Roaix. Ceux-ci sont éloignés de la modalité « présence » des CMO liés aux mouvements de la hanche, du genou et de la cheville. Le groupe de l'Ubac est par contre totalement isolé par rapport aux autres groupes. Les plus proches modalités impliquent d'amples mouvements de la hanche et une sollicitation importante du genou.

Pour les sujets masculins, les sites de Roaix et de l'Ubac sont proches l'un de l'autre. Cependant, les Boileau sont proches du centre du plan et à distance égale des modalités « absence » et « présence » de la plupart des CMO tandis que les autres sites gravitent en extrême périphérie.

Néanmoins, les préservation et conservation très variables entre sujets empêchent de proposer avec certitude un lien entre les mouvements, le site et le sexe. Il faut souligner le

nombre restreint d'individus pour chaque site intégrés à ce test empêchant une analyse bivariée (hormis les Boileau) et la faible variance totale expliquée.

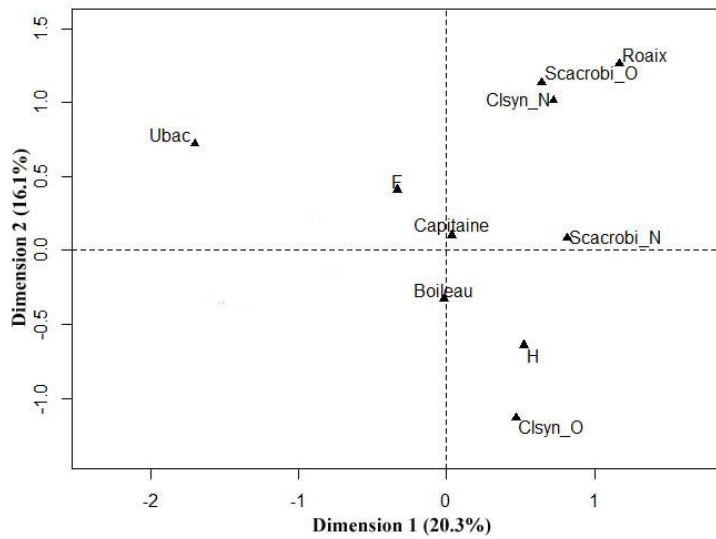


Figure 52 Analyse des Correspondances Multiples des CMO du membre supérieur des sujets de l'échantillon inter-sites d'après le sexe

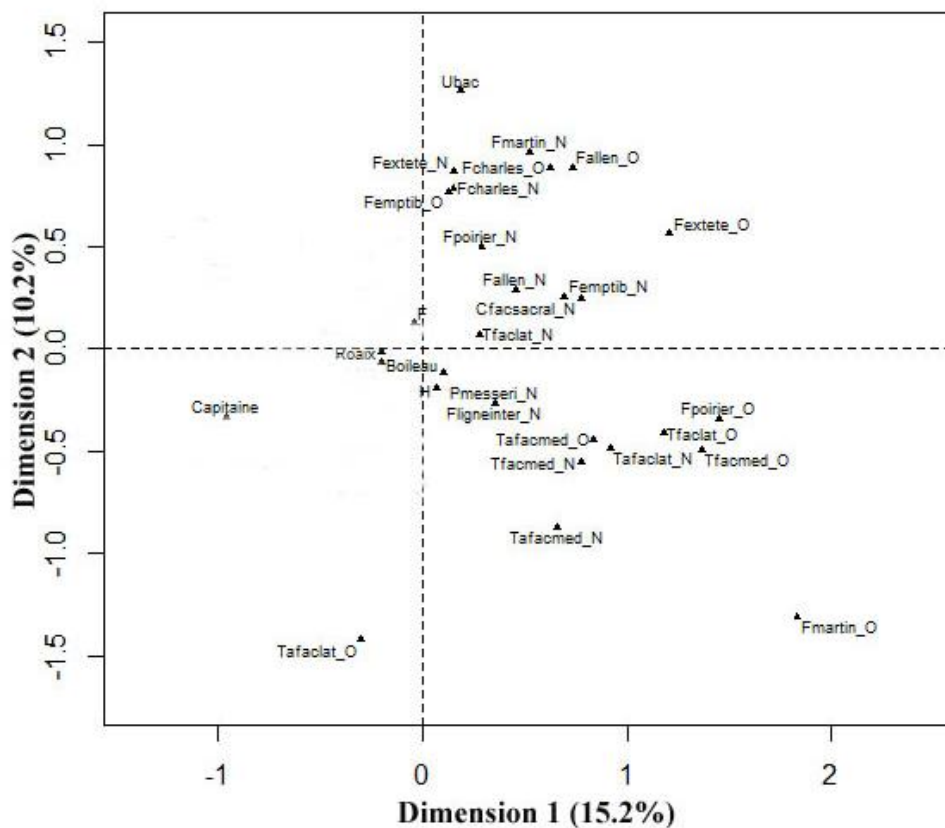


Figure 53 Analyse des Correspondances Multiples des CMO du membre inférieur des sujets de l'échantillon inter-sites d'après le sexe

III.3.3 Observation de l'aspect osseux des enthèses inter-échantillons

Le membre supérieur

Cette ACM intègre 52 sujets:

- Hypogée du Capitaine : 2
- Hypogée de Roaix : 2
- Dolmen de l'Ubac : 2
- Hypogée des Boileau : 46

L'échantillon de l'Ubac est isolé et celui de Roaix est proche des modalités «absence» de chacune des lésions enthésopathiques (Figure 54). Les échantillons du Capitaine et des Boileau se trouvent au centre des modalités « absence » et « présence » mais celui du Capitaine est plus proche des modalités « présence ». Une meilleure conservation et un nombre plus faible d'individus pour cet échantillon sont certainement à l'origine de ces différences avec les Boileau. On ne peut donc pas souligner une réelle distinction ou proximité entre ces échantillons. Il faut noter le nombre restreint d'individus pour chaque site intégrés à ce test à cause des préservation et conservation très variables entre les sujets et qui empêche une analyse bivariée. La variance totale expliquée est faible.

Le membre inférieur

Cette ACM intègre 64 sujets:

- Hypogée du Capitaine : 3
- Hypogée de Roaix : 4
- Dolmen de l'Ubac : 4
- Hypogée des Boileau : 53

Les échantillons du Capitaine et de Roaix sont isolés, celui de l'Ubac proche des modalités « absence » des lésions enthésopathiques (Figure 55). L'échantillon des Boileau reste éloigné des modalités « présence ». Néanmoins, le faible nombre d'individus rend difficile de conjecturer sur la relation statistique entre le développement de lésions enthésopathiques et les échantillons. L'ACM semble indiquer qu'il n'y a pas de contingence entre lésions

enthésopathiques et séries ostéologiques. Les modalités d'exécution des activités liées à ces enthèses ne seraient pas distinctes entre les échantillons ou bien n'auraient pas d'impact sur l'os. Il faut souligner le nombre restreint d'individus pour chaque site intégrés à ce test à cause des préservation et conservation très variables entre sujets et qui empêche une analyse bivariée. La variance totale expliquée est faible.

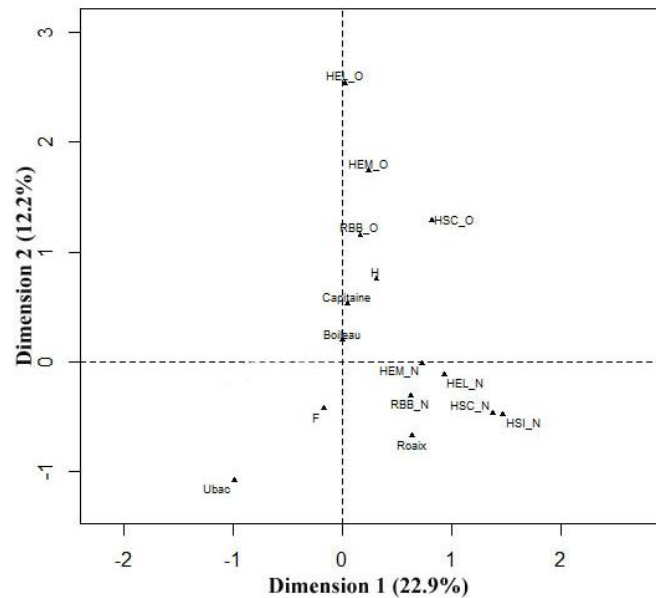


Figure 54 Analyse des Correspondances Multiples des enthèses du groupe 1 du membre supérieur des sujets de l'échantillon inter-sites d'après le sexe

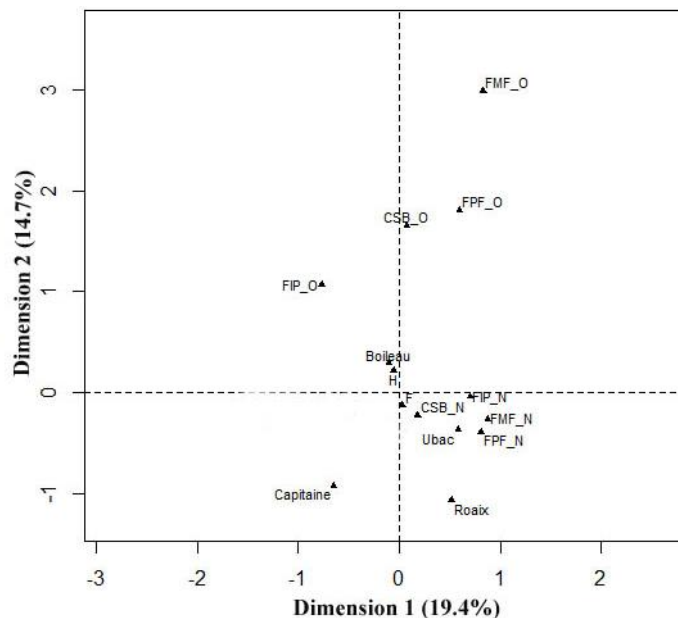


Figure 55 Analyse des Correspondances Multiples des enthèses du groupe 1 du membre inférieur des sujets de l'échantillon inter-sites d'après le sexe

III.3.4 Analyse fonctionnelle par observation des propriétés géométriques de sections transverses inter-échantillons

Membre supérieur

Le moment quadratique polaire J

Les variables choisies pour cette ACP sont les mêmes que celles sélectionnées lors de l'analyse multivariée de l'hypogée des Boileau pour la même problématique.

Au total, 24 individus ont été intégrés à l'ACP :

- Hypogée du Capitaine : 2
- Hypogée de Roaix : 1
- Dolmen de l'Ubac : 1
- Hypogée des Boileau : 20

Les trois premiers axes du plan factoriel expliquent 87,8% de la variance totale (Figure 56). Le premier axe est principalement construit par les variations de J de la partie distale jusqu'au milieu de la partie proximale de la diaphyse du radius (65%). Il traduit 60,4% de la variance totale. Cette dernière est expliquée à 14,6% par l'axe 2. Celui-ci est construit principalement par les variations de J de la partie proximale au milieu de diaphyse distale de l'humérus (35%). Enfin, le troisième axe est proche du second et explique 12,7% de la variance totale. Il est principalement construit par les variations de J en partie proximale du radius (80%) et distale de l'humérus (20%), soit autour de l'articulation du coude, près de l'articulation du biceps brachial sur le radius. Les axes du plan factoriel sont les mêmes que ceux de l'ACP intra-échantillon des Boileau.

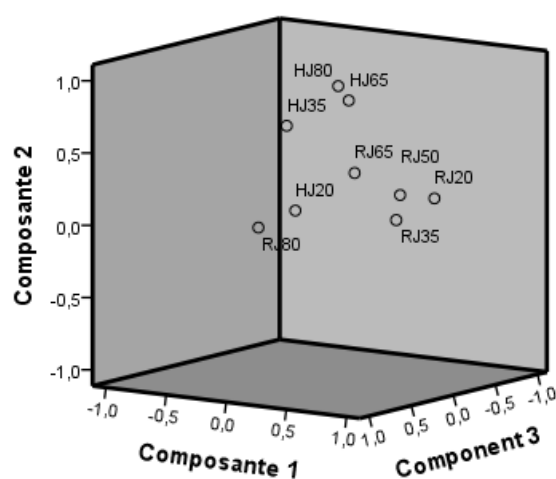


Figure 56 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les variations du moment quadratique polaire le long du membre supérieur de l'échantillon inter-sites

Des corrélations fortes et moyennes existent entre les valeurs radiales de J, excepté à 80%. Il en va de même pour les valeurs de J humérale de 35 à 80% (Figure 57). Les sujets à valeur positive selon l'axe 1 seront caractérisés par une meilleure résistance aux forces de torsion et de flexion de la partie distale jusqu'au milieu de la partie proximale de la diaphyse du radius. Ceux concernés par ce cas le long de l'axe 2 auront un humérus plus rigide de la partie proximale jusqu'au milieu de la diaphyse distale. Enfin, le long de l'axe 3 les individus à valeurs positives subiront une rigidité accrue de l'humérus et du radius autour de l'articulation du coude. Les sujets de Roaix et de l'Ubac possèdent une résistance supérieure à la plupart des sujets des Boileau de la partie distale jusqu'à la partie proximale de la diaphyse de l'humérus. Ils sont néanmoins en périphérie haute le long de l'axe 2 des individus des Boileau. Les deux sujets du Capitaine sont en périphérie basse des sujets des Boileau le long du même axe. Tout comme une partie d'entre-eux, ils sont caractérisés par une rigidité moyenne autour des diaphyses et autour de l'articulation du coude (axe 3). Enfin, certains sujets des Boileau possèdent des valeurs plus élevées le long de l'axe 3 par rapport aux autres échantillons.

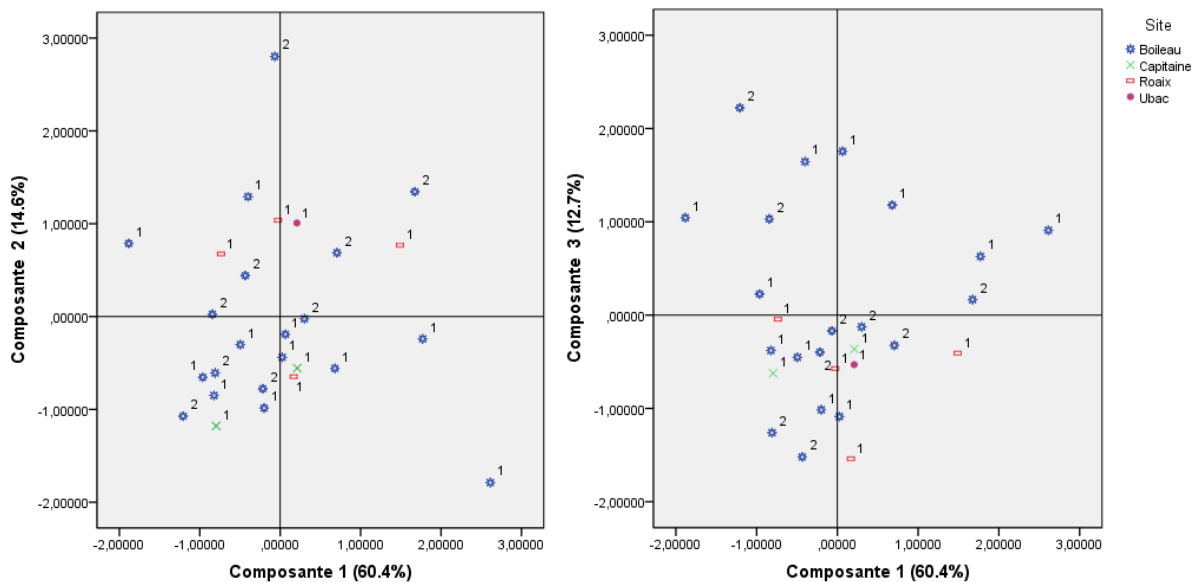


Figure 57 Projection du nuage de points selon les trois premières composantes issues de l'ACP intégrant les variations du moment quadratique polaire le long du membre supérieur de l'échantillon inter-sites (1 : femmes, 2 : hommes)

Le ratio de conformation I_x/I_y

Il y a 23 individus qui ont été intégrés à cette ACP :

- Hypogée du Capitaine : 2
- Hypogée de Roaix : 1
- Hypogée des Boileau : 20

Les trois premiers axes du plan factoriel expliquent 69,1% de la variance totale (Figure 58). Le premier axe est construit principalement par les variations du ratio I_x/I_y à 20 et 65% et de manière négative par celles à 80% du radius et à 35% de l'humérus. Il traduit 31,1% de la variance totale. Cette dernière est expliquée à 23,5% par l'axe 2. Celui-ci est principalement construit par les variations du ratio I_x/I_y de 35% à 50% du radius. Enfin, le troisième axe explique 14,4% de la variance totale et est principalement défini par les variations du ratio I_x/I_y de la partie proximale de l'humérus (de 65 à 80%). Les axes du plan factoriel sont les mêmes que ceux de l'ACP intra échantillon des Boileau.

La diaphyse autour de l'articulation du coude jusqu'à l'insertion du biceps brachial semble subir les variations ensemble et de manière inverse à la partie distale du radius. La partie proximale de l'humérus, proche de l'articulation de l'épaule réagit de manière distincte, de même que la diaphyse radiale entre 35 et 50%.

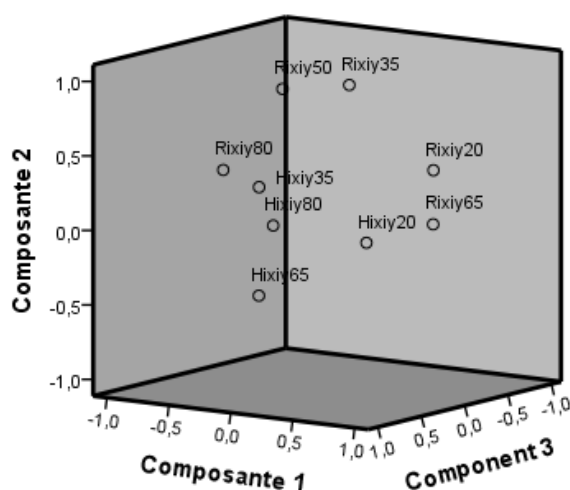


Figure 58 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les variations du ratio de conformation I_x/I_y le long du membre supérieur de l'échantillon Néolithique inter-sites

Les corrélations sont moyennes entre variables définissant une même composante, voire faibles.

Il n'y a pas de regroupement des sujets selon le sexe ou d'après l'échantillon (Figure 59). Les individus ayant des valeurs positives le long de l'axe 1 subissent des contraintes plutôt selon l'axe A-P et un aplatissement M-L de la diaphyse radiale à 20 et 65%. Ils soutiennent des contraintes selon l'axe M-L et un aplatissement A-P à 80% du radius et à 35% de l'humérus. Le long de l'axe 2, les valeurs positives du ratio induisent un aplatissement M-L de la diaphyse du radius de 35% à 50%. Enfin, les sujets à valeurs positives le long de l'axe 3 subissent un aplatissement M-L de la diaphyse humérale de 65 à 80%. L'individu de Roaix possède un aplatissement plutôt A-P le long de l'axe 2 (de 35% à 50% du radius), tout en ayant un aplatissement important pour le reste du radius et de la diaphyse distale de l'humérus (axe 1) et de la partie proximale de l'humérus (axe 3). Les deux sujets du Capitaine possèdent un aplatissement A-P de 35% à 50% du radius (axe 2). Ils ont une conformation quasi circulaire de la diaphyse proximale de l'humérus. Il existe une scission le long de l'axe 1 des individus.

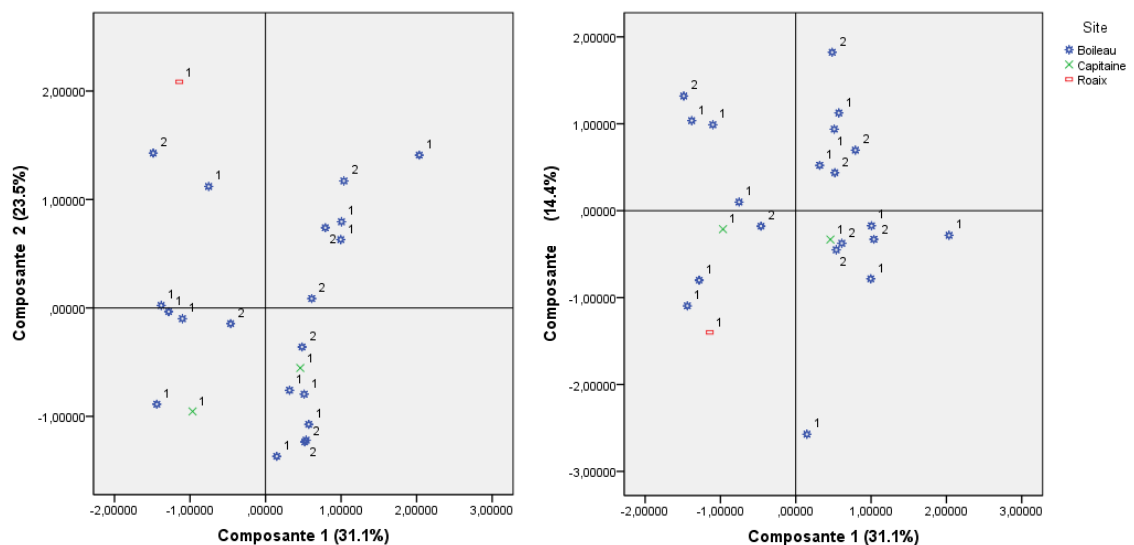


Figure 59 Projection du nuage de points selon les trois premières composantes issues de l'ACP intégrant les variations du ratio de conformation I_x/I_y le long du membre supérieur de l'échantillon inter-sites(1 : femmes, 2 : hommes)

Membre inférieur

Le moment quadratique polaire J

Au total, 28 individus ont été intégrés à l'ACP :

- Hypogée de Roaix : 3
- Dolmen de l'Ubac : 4
- Hypogée des Boileau : 21

Les deux premiers axes du plan factoriel expliquent 79,5% de la variance totale (Figure 60). Le premier axe est principalement construit par les variations de J le long de la diaphyse du fémur. Il traduit 58,3% de la variance totale. Cette dernière est expliquée à 21,1% par l'axe 2. Celui-ci est principalement construit par les variations de J le long de la diaphyse du tibia. Les axes du plan factoriel sont les mêmes que ceux de l'ACP intra échantillon des Boileau.

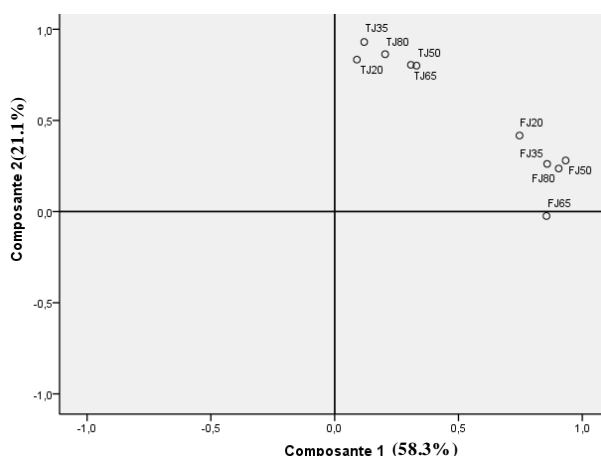


Figure 60 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les variations du moment quadratique polaire le long du membre inférieur de l'échantillon inter-sites

Plus les sections sont proches, plus les corrélations entre elles sont élevées tout le long du membre inférieur.

La dispersion n'indique pas de différenciation des sexes (Figure 61). Les sujets à valeur positive selon l'axe 1 sont caractérisés par une robustesse accrue de la diaphyse fémorale. Ceux concernés par ce cas le long de l'axe 2 auront un tibia plus rigide de la partie proximale. Les individus de Roaix possèdent un développement tibial moyen pour un individu et faible pour les autres, en périphérie basse du groupe des Boileau. Seul un de ces individus présente un fémur

robuste. Les individus de l'Ubac se distinguent par un tibia robuste pour l'un et à l'opposé pour les autres en périphérie basse du groupe des Boileau. Leur robustesse fémorale est faible.

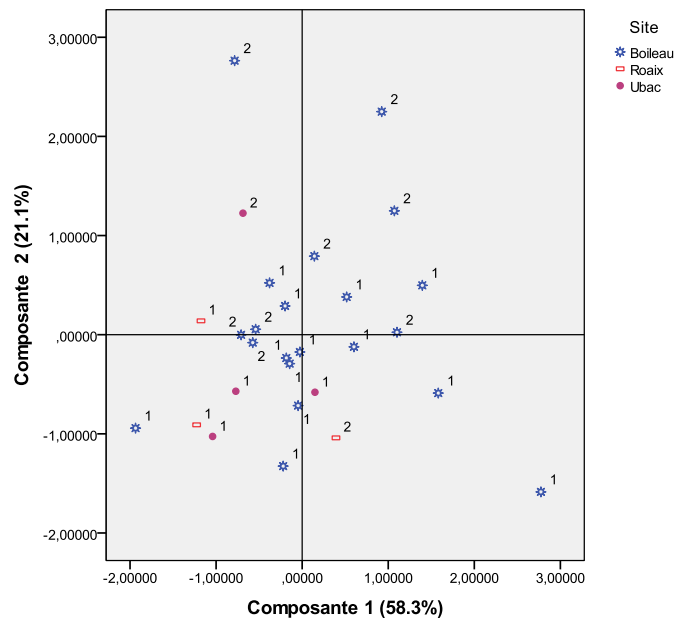


Figure 61 Projection du nuage de points selon les deux premières composantes issues de l'ACP intégrant les variations du moment quadratique polaire le long du membre inférieur de l'échantillon inter-sites (1 : femmes, 2 : hommes)

Le ratio de conformation I_x/I_y

Il y a 28 individus qui ont été intégrés à cette ACP :

- Hypogée de Roaix : 3
- Dolmen de l'Ubac : 4
- Hypogée des Boileau : 21

Les trois premiers axes du plan factoriel expliquent 77% de la variance totale (Figure 62). Le premier axe est principalement construit par les variations du ratio I_x/I_y du tibia. Il traduit 39,5% de la variance totale. Cette dernière est expliquée à 23% par l'axe 2. Celui-ci est principalement construit par les variations du ratio I_x/I_y du fémur de la partie proximale au milieu de la diaphyse (50%). Enfin, le troisième

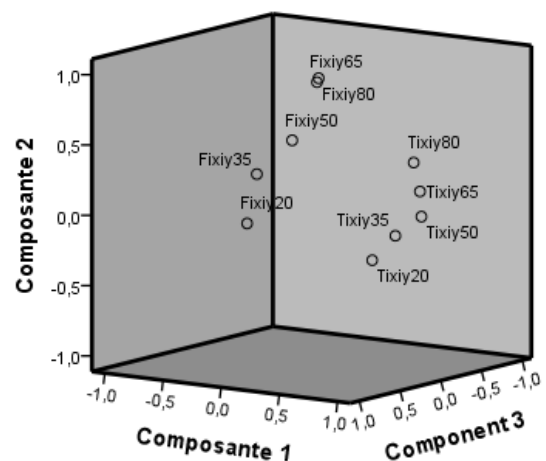


Figure 62 Matrice des composantes de l'Analyse en Composantes Principales intégrant les variations du ratio de conformation I_x/I_y le long du membre inférieur de l'échantillon inter-sites

axe explique 14,4% de la variance totale et est principalement défini par les variations du ratio I_x/I_y de la diaphyse distale du fémur. Les variations de la conformation du fémur sont distinctes entre la partie proximale-milieu et distale de la diaphyse.

Plus les sections sont proches, plus elles sont corrélées excepté dans le cas de Fixiy50, 35 et 20%.

Les individus ne subissent pas de regroupement selon le sexe ou l'échantillon. Ils sont répartis également selon les axes, bien qu'une scission existe le long de l'axe 1 (Figure 63). Les individus ayant des valeurs positives le long de l'axe 1 subissent des contraintes plutôt selon l'axe A-P et un aplatissement M-L de la diaphyse tibiale. Le long de l'axe 2, les valeurs positives du ratio induisent un aplatissement M-L de la partie proximale jusqu'au milieu de la diaphyse fémorale. Enfin, les sujets à valeurs positives le long de l'axe 3 subissent un aplatissement M-L de la diaphyse distale fémorale. Les sujets de l'Ubac sont inclus dans le nuage des individus des Boileau selon l'axe 1 avec des valeurs basses. Leurs variations de conformation ne semblent donc pas extrêmement distinctes. A leur opposé se trouvent les sujets de Roaix, quelques individus des Boileau et un sujet de l'Ubac présentant des valeurs positives le long de l'axe 1. Ces différences se situent au niveau de la conformation de la diaphyse tibiale.

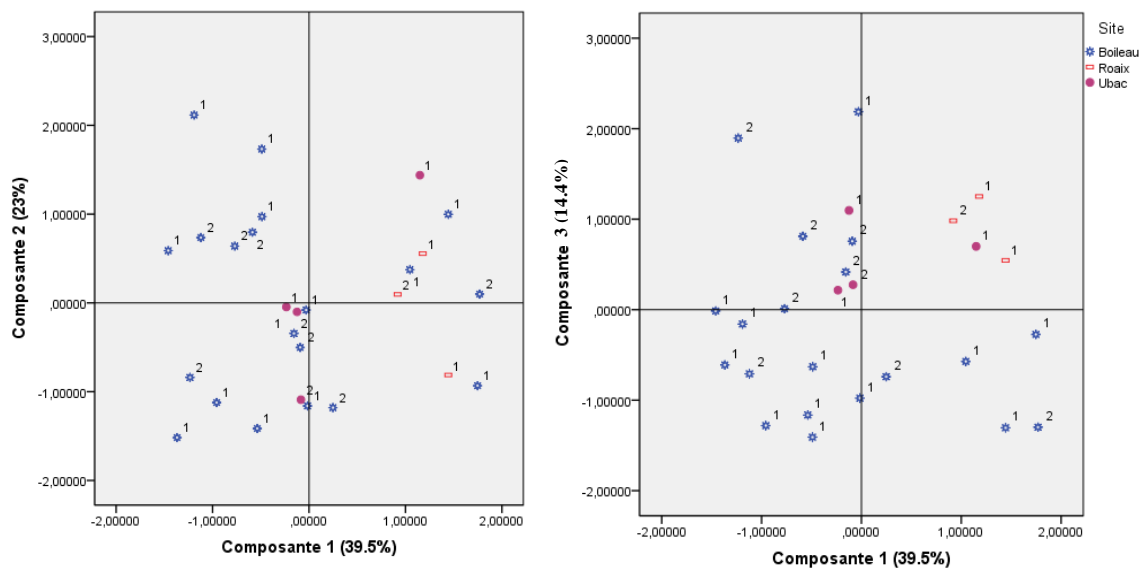


Figure 63 Projection du nuage de points selon les deux premières composantes issues de l'ACP intégrant les variations du ratio de conformation I_x/I_y le long du membre inférieur de l'échantillon inter-sites (1 : femmes, 2 : hommes)

III.4 Synthèse générale des résultats

III.4.1 Estimation de la longueur biomécanique des os incomplets

Un total de 218 équations de régression a été généré, soit 109 pour chaque sexe. Les équations possédant des coefficients de régression inférieurs à 0,6 et dont l'erreur standard de l'estimation est supérieure à 25 mm ont été écartées. Un total de 77 équations correspondant à nos critères ont été retenues. Cependant, afin d'être certain que la longueur estimée soit la plus précise et la plus fiable possible, nous n'avons utilisé que les équations dont le coefficient de détermination r^2 est supérieur à 0.8. Les équations estiment de manière fiable et précise la longueur biomécanique réelle chez les deux sexes.

III.4.2 Analyse fonctionnelle de la série ostéoarchéologique de l'hypogée des Boileau

Membre supérieur

Le traitement statistique montre un dimorphisme sexuel significatif des variables biométriques. Les femmes possèdent de manière générale des proportions plus faibles que celles des hommes.

Les indices anatomiques du membre supérieur n'indiquent pas de différences selon le sexe, la robustesse, la conformation diaphysaire, les fréquences globales des CMO et les lésions enthésopathiques. En s'intéressant à certaines parties du squelette, des différences statistiquement significatives entre les sexes peuvent apparaître : l'empreinte du ligament costo-claviculaire ainsi que la conformation et les dimensions de l'avant-bras selon le côté.

Aucune asymétrie bilatérale significative n'a été mise en évidence pas plus qu'un dimorphisme sexuel de cette dernière pour chaque indicateur de l'activité. Seuls quelques individus se démarquent de l'échantillon.

Membre inférieur

Quasiment tous les indicateurs présentent des différences significatives selon le sexe pour le membre inférieur. Les indices diaphysaires montrent que les hommes possèdent une diaphyse moins arrondie que celle des femmes. Il y a prédominance des lésions enthésopathiques du membre inférieur sur celles du membre supérieur, isolées ou dans leur ensemble, et les fréquences globales sont plus importantes chez les hommes que les femmes. Selon la géométrie de section, les diaphyses fémorales masculines sont structurellement plus renforcées et subissent un aplatissement médio-latéral moins important que celui des femmes. En ce qui concerne la posture, seule la facette de Poirier est significativement plus présente chez les hommes.

III.4.3 Comparaison du développement des différents indicateurs de l'activité

D'après les tests de Spearman, les corrélations mises en évidence entre les propriétés géométriques de sections (J) et le développement des enthèses sont à la fois spécifique à la localisation de l'insertion ou bien ne le sont pas, c'est-à-dire que J n'est pas au niveau de l'insertion concernée par la corrélation pour le membre supérieur (HSC et HJ20%). C'est l'inverse pour le membre inférieur où les corrélations fonctionnent plutôt par zone osseuse et plus précisément la partie proximale du fémur où se situent les enthèses étudiées. Les résultats des équations d'estimation généralisées (GEE) indiquent qu'il n'existe pas de relation entre les propriétés géométriques de sections (J) et le développement des enthèses selon la latéralité et/ou le sexe. La seule exception est une influence significative de la latéralité pour la section humérale à 20%.

Enfin concernant les indicateurs morphologiques, il n'existe pas de relation directe entre les propriétés géométriques de sections et les caractères morphologiques ostéoarticulaires.

III.4.4 Analyse fonctionnelle des différents ensembles funéraires collectifs vauclusiens

Membre supérieur

Les individus de l'hypogée du Capitaine présentent des variations de la robustesse générale et de la conformation le long du membre supérieur comprises dans la variabilité de l'hypogée des Boileau. Tout comme les sujets de ce dernier, ceux du Capitaine sollicitent de manière importante les muscles pectoraux et le ligament costo-claviculaire. L'insertion du biceps brachial (radius) est marquée par un remaniement osseux chez la plupart des sujets du Capitaine comme chez les Boileau avec une légère différence entre les sexes.

Le membre supérieur des sujets de l'hypogée de Roaix apparaît être dans la variabilité de la conformation et de la robustesse des sujets de l'hypogée des Boileau. Les indices anatomiques montrent un membre supérieur peu robuste et isolé avec un arrondissement plus prononcé de l'ulna par rapport à l'hypogée des Boileau. Les variations de la conformation le long de la diaphyse ne différencient pas les deux échantillons à part pour un aplatissement médio-latéral plus prononcé du radius chez les sujets de Roaix. Ces différences viennent du fait qu'il ne s'agit pas des mêmes individus comparés selon les indicateurs et que peu d'entre eux possèdent tous les paramètres à la fois nécessaires à une étude à l'échelle du membre supérieur. Quand l'on s'intéresse plus particulièrement aux variations de l'humérus, il apparaît que les individus de l'hypogée de Roaix possèdent une robustesse générale et une conformation le long de la diaphyse comprise dans la variabilité de l'hypogée des Boileau. L'étude des CMO et des lésions enthésopathiques fait émerger une différence. Hormis par ces indicateurs, il n'est pas possible de discerner de mouvements particuliers effectués au niveau du membre supérieur pour les sujets de Roaix.

Pour le dolmen de l'Ubac, les variations de la robustesse générale et de la conformation le long du membre supérieur sont dans la variabilité des individus de l'hypogée des Boileau. Concernant la sollicitation des insertions musculaires, les individus de l'Ubac sont isolés par rapport aux deux autres hypogées.

Membre inférieur

Les sujets de l'hypogée du Capitaine ne sont pas éloignés de la variabilité de ceux des Boileau pour les variations de la robustesse générale et de la conformation du membre inférieur comme tous les autres échantillons. Le mode postural est proche de celui adopté par les sujets des Boileau et éloigné des sujets de Roaix et de l'Ubac pour les femmes. Pour les sujets masculins, il est isolé par rapport aux autres échantillons. On note cependant qu'entre les échantillons la sollicitation des muscles n'est pas identique quand on considère les échantillons globaux. C'est le même constat pour les CMO quand on ne sépare plus les hommes et les femmes. Les modes posturaux diffèrent par rapport aux autres sites.

Concernant l'hypogée de Roaix, la posture des femmes semble différente de celle habituelle des autres échantillons. Chez les hommes de cet hypogée, la posture est proche de celle adoptée par les sujets du dolmen de l'Ubac.

Les sujets féminins du dolmen de l'Ubac ont un mode postural éloigné de celui des autres échantillons. En comparaison des autres échantillons, tous les sujets de l'Ubac (7) sollicitent les muscles de manière différente lors de l'exécution de la pratique des activités.



Chapitre IV

Discussion

Chapitre IV. Discussion

IV.1 Estimer la longueur biomécanique d'os incomplets : réalité et limites

Nous avons testé la possibilité d'estimer la longueur biomécanique des ossements incomplets. Notre but était de répondre à la nécessité de localiser correctement les sections le long de la diaphyse pour l'étude des propriétés géométriques de sections transverses d'os incomplets.

Nos travaux mettent en évidence que cela est possible en comparant la longueur biomécanique estimée par les équations de régression à celle mesurée. La méthodologie est la même que celle développée par D. Steele et T. McKern (1969) estimant la longueur totale.

La taille de nos échantillons sexe-dépendant du membre inférieur se légèrement supérieurs à ceux de K. Jacobs (1992) :

- Fémur : 26 femmes et 33 hommes
- Tibia : 16 femmes et 22 hommes

La population de référence de K. Jacobs (1992) est décrite comme un ensemble de sujets pan-européen datant du Mésolithique au Néolithique moyen et s'intéressant à la longueur totale du fémur et du tibia. En comparaison, les erreurs standards de nos équations sont plus faibles que celles des équations correspondantes chez K. Jacobs (1992). Cette population peut être perçue comme proche de la nôtre mais nos équations sont plus précises concernant la longueur biomécanique pour les mêmes os. Il faut garder à l'esprit que ces comparaisons ne sont valables que dans un certain degré puisque nos équations estiment la longueur biomécanique tandis que les travaux de ces auteurs estiment la longueur totale. Notre échantillon de référence plus important peut aussi participer à l'explication de la précision plus élevée de nos équations puisque nous englobons une plus grande variabilité des longueurs des segments osseux et biomécanique de l'os.

Il existe deux types de points : situés sur une insertion musculaire ou un foramen nourricier ou sur des zones articulaires ou d'ossifications secondaires. Simmons et collaborateurs (1990) entre autres critiquent la méthode de D. Steele et T. McKern, en expliquant la difficulté de localiser certains points tels que l'intersection de la crête antérieure avec l'axe central du tibia (T2, cf Figure 16). Cela entraînerait d'importantes erreurs de fiabilité et de précision lors de la création des équations. Cela est souligné à divers degrés par D. Steele et T. McKern (1969), D.

Steele (1970), K. Jacobs (1992) et L. Wright et M. Vásquez (2003). Ils démontrent que les points de repère situés sur une insertion musculaire ou un foramen nourricier sont moins aisés à identifier et que les segments et équations définis par des zones articulaires ou d'ossification secondaire sont plus corrélés à la longueur totale. Ces auteurs attribuent ces variations à des différences entre individu de masse musculaire et de type et d'intensité d'activités pratiquées. Par ailleurs, il a été démontré que ces zones sont moins sensibles à l'influence des facteurs mécaniques telle que la masse corporelle (Ruff et al. 1991, Lieberman et al. 2001). K. Jacobs (1992) et L. Wright et M. Vásquez (2003) notamment recommandent l'utilisation préférentielle des points situés sur des zones articulaires ou d'ossifications secondaires afin de s'affranchir de l'influence des facteurs mécaniques. Concernant nos travaux, les segments définis intégralement par ce type de point ne possèdent pas une corrélation importante à la longueur biomécanique, comme dans le cas de la longueur totale. Cependant, pour les segments définis par les deux types de points, la précision et la fiabilité des équations dépend des ossements. Dans le cas de la tubérosité deltoïde pour l'humérus (H4, cf Figure 16), du point de divergence des lignes intercondyliennes médiale et latérale (F4) et de la majorité des points du tibia de ce type (T1-4), il apparaît qu'il ne s'agit pas des meilleurs indicateurs. Par ailleurs, S. Villotte (2008a) a démontré qu'il n'y avait pas de lien entre les activités et les développements de la tubérosité deltoïde (H4), des muscles vaste médial, grand adducteur et long adducteur (F4). D'autres facteurs que mécaniques sont donc à incriminer pour les variations intra populationnelles de position de ces points et de masse musculaire.

Pour tous les ossements, l'erreur standard de l'estimation est plus importante chez les hommes que les femmes ainsi que pour les segments définis au moins par un point de repère situé sur une insertion musculaire ou un foramen nourricier. La taille de chaque échantillon étant la même, ce n'est pas un facteur explicatif. Pour le cas de l'humérus où il y a moins de sujets féminins que masculins, la relation entre l'erreur standard homme-femme devrait être inversée si la taille de l'échantillon entrainé en jeu. Cela signifie donc une plus grande variation de la longueur des segments chez les hommes.

Par ailleurs, on remarque que plus le segment est long, meilleur sera la corrélation à la longueur biomécanique, et donc aussi celle de l'équation. Les segments les plus longs possèdent au moins l'un des deux points situés sur des zones articulaires ou d'ossifications secondaires. Cela conforte l'hypothèse que ces points sont plus fiables que ceux situés sur une insertion musculaire ou un foramen nourricier.

Le radius est un cas particulier chez les hommes car bien que la plupart des segments soient corrélés significativement avec la longueur biomécanique, il n'en résulte pas d'équations corrélées avec celle-ci. En effet, la plupart des segments possèdent une corrélation peu importante à la longueur biomécanique ($<0,6$), la meilleure des corrélations étant inférieure à 0,75. La solution serait peut-être de générer des équations multi-segments, contrairement aux autres os pour lesquels des équations mono-segment sont corrélées de manière satisfaisante à la longueur. Par ailleurs, les points de repère sont situés aux extrémités de la diaphyse, il n'y a pas de points réellement intermédiaire comme peut l'être le point U3 pour l'ulna (foramen nourricier). Il serait intéressant de localiser un tel point et de modifier les points R2 et R3 afin de sélectionner le milieu selon l'axe longitudinal de la tubérosité radiale comme le suggère K. Jacobs (1992) dans son étude pour le segment T1_2 dans l'estimation de la longueur totale. Cela n'a pas été effectué car les extrémités de la tubérosité radiale sont des points plus identifiables que T1 et T2 dans notre étude. Le dimorphisme décelé par les équations montre que la variation entre les sexes est peut-être due à différences de masse musculaire elles-mêmes dues à des facteurs mécaniques (lien entre l'activité et l'enthèse RBB) ou à des statuts hormonaux différents.

Pour chaque sexe, le tibia est l'os présentant la fiabilité la moins élevée. Cela vient certainement du fait que la plupart des points de repère sont situés sur des insertions musculaires ou un foramen nourricier. Ces points sont les plus durs à localiser avec précision, ce qui explique une perte de fiabilité et de précision.

On peut envisager que les points et les segments suivants dont la position et la longueur dépendent des forces mécaniques y soient particulièrement sensibles (cf Figure 16) :

- les segments H0_1 à 2 et points H1 et 2 vu que le développement des enthèses HSC et HSI est lié à l'activité (humérus)
- les points R2 et R3 vu que le développement de l'enthèse RBB est influencé par l'activité (radius)
- les segments fémoraux F0_1 à 2 et points F1 et 2 vu que leur longueur varie selon l'angle du col fémoral déterminé en partie par les forces mécaniques subies par la hanche (Lovejoy et al. 1973)
- le point F3 vu que le développement de l'enthèse FIP est dû à l'activité (fémur).

Il est vrai que les points situés sur des zones articulaires ou d'ossifications secondaires sont plus aisés à repérer lors de la prise de mesure que d'autre type de point mais les équations obtenues pour les segments définis par les deux types de points à la fois sont suffisamment corrélées à la longueur biomécanique. Nous estimons donc qu'il serait contre-productif de rejeter tous les points situés sur une insertion musculaire ou un foramen nourricier. Certains participent à la construction de segment à forte corrélation avec la longueur biomécanique.

Au final, **notre approche montre qu'il est possible d'estimer la longueur biomécanique/physiologique des os incomplets à partir des variations de longueurs de segments osseux.** Les facteurs mécaniques, mais certainement aussi des facteurs développementaux, génétiques et environnementaux, influencent la corrélation entre les équations de régression et la longueur biomécanique. La fiabilité et la précision des équations de régression générées à partir des segments osseux sont donc variables. Concernant les os longs (sauf le radius des hommes) et d'après nos résultats, nous recommandons l'utilisation des équations en Annexe III. Celles qui sont signalées en gras sont plutôt à éviter. Un travail ultérieur sera effectué d'après nos données afin de pouvoir estimer la longueur biomécanique des os incomplets pour des sujets dont le sexe n'est pas déterminé.

IV.2 Comparaison du développement des différents indicateurs de l'activité

IV.2.1 Relation entre le développement des enthèses et les propriétés géométriques de sections transverses

Nous avons mené cette étude afin d'étudier s'il existait une relation entre la robustesse générale de la section et la présence des enthésopathies notamment à cause des facteurs biomécaniques. D'après les tests de Spearman, les corrélations mises en évidence entre le moment quadratique polaire J (robustesse générale de la section) et les lésions enthésopathiques sont :

- spécifique de la localisation de l'insertion (HDE et HJ50%), c'est-à-dire que la section pour laquelle il y a une contingence entre le développement de l'enthèse et la robustesse générale de la section recoupe l'enthèse en question. Il faut mettre de côté les corrélations entre J et l'insertion deltoïde car celle-ci n'est pas corrélée aux activités (Villette 2008a)

- non spécifique à la localisation de la section c'est-à-dire la section pour laquelle il y a une contingence entre les indicateurs ne recoupe pas l'insertion concernée (HSC et HJ20%, FIP et FJ50%)

La majorité des corrélations ne sont pas spécifiques à la localisation de l'insertion pour le membre supérieur. C'est l'inverse pour le membre inférieur où les corrélations fonctionnent par zone osseuse et plus précisément la partie proximale du fémur où se situent les enthèses étudiées. Ces corrélations restantes concernent toutes des insertions appartenant au groupe 1 dont l'occurrence est mise en relation avec les activités (Villotte 2008a). On remarque pour le membre supérieur que les corrélations ne concernent que les hommes et que pour le membre inférieur une seule corrélation est mise en évidence pour les femmes. Cela peut-être dû à des différences de statut hormonal. Les variations d'œstrogène et de testostérone au cours de la croissance et la sénescence entraînent des variations du rythme de remodelage, de la proportion des muscles et des aires musculaires entre les sexes (Ruff 2003, Seeman et Delmas 2006). Les propriétés de résistance du tissu osseux féminin sont réduites par rapport à celles des hommes. Comme déjà vu précédemment (cf IV.3.1), les dimensions des aires corticales et musculaires féminines sont aussi plus larges que celles des hommes et que le membre supérieur est plus concerné que le membre inférieur. Enfin, on ne retrouve pas d'asymétrie bilatérale significative, ni de différence de celle-ci entre les indicateurs. Cela rejoint les résultats précédents obtenus lors de l'étude séparée de chacun d'entre eux.

Les résultats des GEE indiquent cependant qu'il n'existe pas de relation entre J et les lésions enthésopathiques selon la latéralité ou le sexe, exceptée pour la section humérale à 20%. La latéralité influence le développement de lésions enthésopathiques selon les variations de la robustesse de cette section. Une asymétrie bilatérale apparaît à ce niveau concernant la relation entre J et les lésions enthésopathiques. Ces différences entre les tests statistiques pourraient être dues à leur fonctionnement vu que les GEE intègrent de manière plus fine les données que le test de Spearman. Au vu de ces résultats, il n'y a pas de relation statistique entre les indicateurs.

En considérant cela, la corrélation due à des facteurs biomécaniques est plutôt douteuse vu les résultats divergents des tests. L'étude de S. Niinimäki (2012) suggère qu'il existe une relation entre les deux indicateurs due aux facteurs biomécaniques mais qu'il faut atteindre un seuil d'intensité minimum des contraintes afin que la corrélation augmente. Les insertions étudiées dans cette étude (grand pectoral, muscle rond majeur et deltoïde) ne sont pas liées aux activités selon les travaux de S.Villotte (2008a). Nous ne pouvons donc pas comparer nos propres résultats à ceux-ci. Il en va de même pour ceux de Weiss (2003a) et Bridges (2000). En

étudiant séparément les indicateurs au sein de notre échantillon, les informations apportées par la morphologie et l'analyse des enthèses ne sont parfois pas les mêmes. Les résultats que nous obtenons pour les indicateurs se complètent, comme le soulignent les corrélations du test de Spearman pour la partie proximale du fémur chez les hommes.

Une corrélation entre les propriétés géométriques de sections (J) et le développement des enthèses due aux facteurs biomécaniques est difficile à percevoir. Les sollicitations fonctionnelles s'expriment à la fois au niveau de la morphologie générale des os et des insertions. Il est difficile de trancher sur l'existence d'une relation due à des facteurs biomécaniques entre ces indicateurs qui sont de natures différentes. Leur origine multifactorielle n'y est certainement pas étrangère. Néanmoins, **les indicateurs morphologiques et paléopathologiques se complètent** dans le cadre de notre analyse biomécanique.

IV.2.2 **Relation entre le développement des caractères morphologiques ostéoarticulaires et la robustesse générale des sections transverses**

Contrairement aux lésions enthésopathiques qui sont des réactions pathologiques, les caractères morphologiques ostéoarticulaires sont des adaptations osseuses non pathologiques comme J et le ratio de conformation I_x/I_y . Cependant, certains caractères sont plutôt perçus comme découlant de facteurs génétiques plus que biomécaniques. Au niveau du membre supérieur, aucune contingence n'a pu être mise en évidence entre les propriétés géométriques de la section et les caractères morphologiques ostéoarticulaires pour les fréquences par insertion ou globale. Pour le membre inférieur, les corrélations sont plus spécifiques sur certaines zones du fémur que sur l'ensemble de la diaphyse. De plus, les individus les plus robustes selon les propriétés géométriques de section ne sont pas ceux chez qui les caractères morphologiques ostéoarticulaires sont les plus fréquents. La concordance entre les indicateurs porte sur des mouvements spécifiques plus que sur une réelle corrélation générale entre la robustesse, la conformation et les caractères morphologiques ostéoarticulaires.

Comme pour l'analyse des enthésopathies, il n'existe **pas de corrélation directe entre les propriétés géométriques et les caractères morphologiques ostéoarticulaires** due aux facteurs biomécaniques. Ces derniers définissent plus la répétitivité d'un mouvement que son amplitude et sa direction. Ces indicateurs se complètent. Les caractères morphologiques

ostéoarticulaires apportant des précisions non négligeables sur le mode postural, sur la performance d'une posture particulière d'un individu.

IV.2.3 **Apport des propriétés géométriques des sections transverses par rapport aux autres indicateurs de l'activité**

Nous n'avons pas pu comparer les variables biométriques aux propriétés géométriques de sections transverses. Les travaux de J. Stock et C. Shaw (2007) qui comparent la validité des mesures externes et des indices anatomiques par rapport aux propriétés géométrique de section transverse montrent que les variables de biométrie classique donnent une estimation valide des contraintes biomécaniques. Les données dérivées de la géométrie de section restent plus précises. Les analyses fonctionnelles menées par les indicateurs pris un à un ne se contredisent pas. Tout indicateur apporte un complément d'information quant aux contraintes mécaniques subies par le sujet. La géométrie de section est un outil disponible pour une analyse fonctionnelle parmi les autres. Son avantage est qu'elle permet d'étudier les variations des adaptations structurales tout le long de la diaphyse et non une conformation générale de l'os comme la biométrie classique. Par ailleurs, si elle décrit la spécificité des mouvements, elle ne dépend pas d'une sollicitation spécifique pour entraîner un remaniement osseux. Quel que soit les activités pratiquées, tout sera enregistré (Kennedy 2000). Cela peut bien sûr masquer des mouvements spécifiques. C'est à ce niveau qu'interviennent les autres indicateurs de l'activité. Afin d'appréhender dans sa globalité et sa spécificité le comportement d'un individu, l'idéal est d'utiliser les indicateurs en les croisant. Il faut néanmoins rester prudent quant à leur origine multifactorielle et tenir compte de l'influence des facteurs génétiques, développementaux et environnementaux.

L'utilisation conjointe de plusieurs ossements pour un même membre nous permet de s'approcher plus finement des mouvements effectués comme par exemple dans le cas de l'avant-bras des sujets de l'hypogée des Boileau. A n'utiliser qu'un seul os par un membre, des précisions sur les mouvements et modes posturaux peuvent nous échapper.

Tous ces indicateurs sont utilisés dans un même but : reconstituer les gestes des populations passées. Il est admis que les contraintes mécaniques jouent un rôle dans leurs apparitions. Cependant, une fois confrontés, **il n'y a pas de relation claire entre chacun d'entre eux en fonction des contraintes mécaniques**. Aucun ne va induire la présence d'un autre, ni influencer sur son développement. Leur concordance dépend de la spécificité des

mouvements. Leur origine multifactorielle peut être évoquée comme cause possible, tout comme la manière dont ces différents facteurs développementaux, génétiques et environnementaux influent sur chacun des indicateurs au cours de la vie du sujet. Il est aussi envisageable que notre échantillon ne subisse pas de contraintes assez spécifiques ou assez importantes pour que cette relation apparaisse. Une perspective de recherche possible est d'élargir cette étude à une population de référence pour laquelle les occupations des défunts sont connues. Le choix de l'indicateur étudié dépend de l'orientation de la problématique et de l'état de la série ostéologique.

IV.3 Analyse fonctionnelle de la série ostéoarchéologique de l'hypogée des Boileau

IV.3.1 Membre supérieur et mode d'exécution des activités au sein de l'hypogée des Boileau

Le traitement statistique montre un dimorphisme sexuel significatif des mesures de l'humérus, de l'ulna et du diamètre antéro-postérieur maximal du radius

Les femmes possèdent de manière générale des proportions moins importantes que celles des hommes mais le dimorphisme sexuel peut être aussi lié aux conditions de vie et de croissance (Hiernaux 1968, Tobias 1972, Stinson 1985, Dewey 1980). L'âge et le sexe sont deux facteurs influençant la dynamique du tissu osseux (cf I.2.1). La croissance participe à cette dynamique et chaque sexe sera influencé à différents degrés par les facteurs mécaniques et environnementaux pendant la maturation notamment à cause des différences de statut hormonal. Des études développementales soulignent ainsi la plus grande sensibilité des hommes au stress environnemental pendant la croissance (Hiernaux 1968, Stinson 1985). Leur développement osseux pourrait plus aisément subir un retard en cas de mauvaises conditions environnementales. En cas de conditions favorables, les différences entre les sexes ne se réduisent pas. Cependant, pour d'autres auteurs, la sensibilité au stress environnementaux serait semblable pour les sexes (Stinson 1985), les hommes rattraperaient rapidement l'écart de croissance (Tobias 1972), un sexe serait favorisés plutôt que l'autre par les sociétés humaines par des facteurs culturels (Dewey 1980). Les travaux de E. Seeman (2001) exposent qu'un retard lors de l'expression de la puberté peut engendrer des différences structurelles osseuses propres à chaque sexe. Les femmes auront un os plus large ou de dimensions normales (avec une aire corticale peu épaisse et un canal médullaire plus important) à cause d'une potentielle réduction des appositions

endocorticale. Cela pourrait se produire si les appositions périostées continuent en l'absence de inhibitoire d'œstrogène. Chez les hommes, suite à une réduction des appositions périostées, les os pourraient être plus petits avec une aire corticale peu épaisse et un canal médullaire normal. Le dimorphisme peut se réduire en cas de retard dans l'expression de la puberté, les hommes étant plus atteints que les femmes. Les études s'intéressant au dimorphisme sexuel ne livrent donc pas des résultats univoques concernant son expression. La dynamique du tissu osseux n'a pas une réponse directe et simple aux facteurs environnementaux mais dépend aussi d'influences génétiques et culturelles. Le dimorphisme sexuel n'est donc pas un indice de stress environnemental à lui seul (Stinson 1985).

Selon W. Devriendt (2004a) notre population présente des signes de stress environnementaux qui témoignent des conditions de vie stressante pour le squelette. Si peu de cas de *cribra orbitalia* ou d'hypoplasie dentaire sont relevés, il est noté une grande proportion de lignes de Harris sur des premiers métatarsiens. Ces dernières sont généralement entendues comme signe d'un stress de croissance dû à un traumatisme, la malnutrition, une pathologie développementale (Mafart 1989). Le sexe ratio des individus atteints n'est pas précisé. En tenant compte notamment de ce fait et de la mortalité des immatures, W. Devriendt (2004a) proposait l'existence de mauvaises conditions socio-économiques pour cette population par rapport à des groupes contemporains comme celui de l'hypogée du Capitaine.

Les hypothèses soulevées par l'étude paléobiologique de W. Devriendt (2004) suggère des conditions de vie défavorables et le dimorphisme des mesures qu'elles n'aient peut-être pas été défavorables. Nous ne pouvons pas déterminer les conditions de vie à l'aide du seul dimorphisme sexuel des mesures bien que les sujets aient survécu assez longtemps à des conditions de vie défavorables pour permettre la formation de stigmates osseux.

Au niveau global du membre supérieur, il n'a été mis en évidence aucune différence selon le sexe d'après les autres indicateurs de l'activité. Les hommes et les femmes ne se distinguent donc pas par des sollicitations mécaniques plus importantes. L'absence de dimorphisme sexuel général pour le membre supérieur est intrigante malgré quelques différences pour certains indicateurs. De nombreuses études biomécaniques (aspect osseux des enthèses, propriétés géométriques de sections transverses) montrent, pour des périodes et des cultures diverses que les membres supérieurs masculins sont plus robustes que ceux des femmes (Weiss 2003, Marchi et al. 2006, Sladek 2007, Maggiano et al. 2008). L'absence de dimorphisme sexuel signifie qu'il n'existe pas de différence apparente dans la manière de pratiquer les activités. Nous n'identifions pas les activités pratiquées mais les gestes ayant menés à leur réalisation. Le

squelette enregistre l'ensemble des activités pratiquées au cours de la vie (Kennedy 2000), il est donc difficile de rattacher une activité à une conformation (Sparacello et Marchi 2008). D'autant que dans notre cas, la population féminine des Boileau effectue des travaux aussi marquants physiquement que ceux des hommes au niveau du membre supérieur.

En s'intéressant à des parties spécifiques du membre supérieur, des différences significatives peuvent apparaître entre les sexes. Concernant les caractères morphologiques ostéoarticulaires, ces différences concernent l'empreinte du ligament costo-claviculaire pour le membre supérieur. Ce marqueur est principalement bilatéral. Les sujets masculins sollicitent de manière intensive les muscles pectoraux et le ligament costo-claviculaire (Capasso et al. 1999). Ce dernier est une des origines du muscle grand pectoral. Il permet plus particulièrement la flexion du membre supérieur et son adduction. Son hyper-sollicitation aurait lieu quand le sujet ramène les épaules vers l'avant lors du port de charges lourdes et/ou en se penchant (Capasso et al. 1999). Sa sollicitation correspond aussi à un mouvement de rotation alterné de la ceinture scapulaire. V. Garela et M. Garralda (1993) décrivent le même dimorphisme pour ce marqueur et y voient principalement la répercussion de l'utilisation de l'araire au sein d'une population agricole d'après la description du mouvement. Cette population porte d'importantes charges sur les épaules. Ce marqueur apparaît aussi chez les hommes d'équipages du bateau *Mary Rose* au 16^{ème} siècle (Stirland (1985) cité par L. Capasso et al. 1999). Ce marqueur apparaît aussi après l'utilisation d'une double ou d'une simple pagaie (D. Hawkey (1988) cité par Capasso et al. 1999, Hawkey et Merbs 1995, Steen et Lane 1998). Il peut prendre d'autres formes qu'une lésion en J chez des populations pratiquant utilisant la double-pagaie (Capasso 1999). Ce mouvement de pagaie développe les insertions du deltoïde, des biceps et des triceps brachiaux. L'hypothèse de la double pagaie ne fonctionne pas pour notre population en tant que telle : il n'a pas été trouvé jusqu'ici de preuve concernant une telle navigation ou une exploitation intensive de ressources aquatiques et seule l'empreinte du ligament costo-claviculaire est significativement différente. Pour un même marqueur, différentes activités sont définies. Si l'on s'intéresse aux autres indicateurs de l'activité pour des parties spécifiques du membre supérieur, comme autour de l'épaule ou du coude, aucune autre différence significative n'apparaît selon le sexe. Les hommes possédant un membre supérieur un peu plus robuste sont un peu plus atteints par les lésions enthésopathiques mais de manière non significative, notamment les insertions citées ci-dessus. Les hommes pratiquent des activités nécessitant un investissement plus important au niveau d'une zone particulière de l'épaule. On peut s'intéresser au port de charge lourde et d'utilisation d'outils agricoles particuliers comme facteurs explicatifs. Concernant le lien de ce mouvement avec l'utilisation de l'araire, cet outil apparaît durant le Néolithique final (Pétrequin

et al. 2006a) mais il nous semble simpliste de ne relier ce caractère morphologique ostéoarticulaire qu'à l'utilisation de cet outil. En effet, d'autres outils agricoles sont utilisés tel que le *tribulum* et les traces fossiles de l'araire proviennent principalement des Alpes et du Nord de l'Europe (idem). Les questions du nombre de bovins disponibles par groupe, d'attelages et de l'identité et du statut de leur propriétaire restent problématiques. Si le laboureur possédait un statut particulier, on peut supposer que peu de personnes pouvaient manier les attelages hormis lui (Pétrequin et al. 2006b). L'utilisation de l'araire ou autre outil lié à la traction animale ne serait donc pas à l'origine d'une différence aussi marquée entre hommes et femmes pour ce marqueur. D'autant que supposer le contraire revient à exprimer le fait que tous les hommes s'occupaient des travaux des champs. L'empreinte du ligament costo-claviculaire ne suffit pas à émettre l'hypothèse que les hommes s'occupaient des travaux agricoles et non les femmes. Nous préférons rester plus prudents et préciser que les hommes sollicitant de manière plus importante la ceinture scapulaire, il est possible qu'ils aient pratiqué:

- une gamme d'activité différente et plus prégnante au niveau de ces muscles par rapport aux femmes pouvant impliquer le port de charges lourdes
- une même gamme d'activité que celles des femmes impliquant ces muscles mais de manière plus intense et pouvant impliquer le port de charges lourdes.

Ce marqueur nous permet d'entrevoir une différence dans les comportements selon le sexe qui reste minime.

Concernant la géométrie de section, la comparaison du radius et de l'ulna montre des différences significatives entre les sexes. Pour le premier, l'intensité, l'amplitude et la direction des sollicitations sont divergentes selon le sexe. L'antimère gauche des hommes subira des sollicitations plus prégnantes. Les contraintes subies prennent une direction plus médio-latérale qu'antéro-postérieure et il en va de même de manière moins marquée pour l'antimère droit. Pour l'ulna droit, cela est moins visible mais le même phénomène se répète. Cela signifie que les hommes se reposent plus sur le radius gauche que les femmes lors des activités et qu'il en va de même dans une moindre mesure pour l'ulna droit. La distinction ulna-radius du côté gauche peut sembler étrange. Le radius est le principal acteur de la pronosupination, la rotation axiale du bras par rapport à l'avant-bras. En faisant appel aux autres indicateurs de l'activité, on se rend compte que l'enthèse du biceps brachial, principal muscle moteur radial de ce mouvement, est bien plus développée du côté gauche que du côté droit et principalement chez les hommes, presque significativement. V. Eshed et collaborateurs (2004) utilisent les lésions des enthèses pour percevoir des différences biomécaniques selon le sexe au sein de population néolithique et

natoufienne au Levant. Après avoir montré que les femmes possèdent des atteintes plus élevées au niveau du coude et de la partie distale de la diaphyse, il est proposé qu'elles doivent faire un travail plus délicat que les hommes. Nous émettons l'hypothèse que les hommes pratiquaient des activités impliquant une prono-supination plus soutenue pour l'avant-bras gauche que le droit par rapport aux femmes. On peut émettre les mêmes hypothèses précédentes concernant la gamme d'activités concernée.

Certains indicateurs de l'activité comme la géométrie de section indiquent parfois des valeurs plus élevées chez les femmes que chez les hommes pour certains paramètres. C'est le cas pour les valeurs de l'aire totale (humérus) et l'aire médullaire mais les membres supérieurs féminins ne sont pas plus aptes à résister aux contraintes mécaniques que les hommes. En effet, en observant la valeur du pourcentage d'aire corticale, on se rend compte que celle-ci est à chaque fois supérieure chez les hommes. Pour une surface totale plus élevée chez l'humérus mais pas pour le reste du membre supérieur, les sections féminines possèdent moins d'os compact. La robustesse générale de l'os (J) est chaque fois plus importante chez les hommes. Les travaux de J. Rhodes et C. Knüsel (2005) se sont intéressés aux altérations architecturales osseuses le long de l'humérus afin de faire le lien avec les facteurs biomécaniques. Les populations étudiées datent du Bas Moyen-Age et sont divisées en deux échantillons, l'un étant caractérisé par des traces de violences interpersonnelles chez les hommes (Towton, Yorkshire Nord). Les sujets présentant la plus grande robustesse osseuse (J) ne sont pas ceux présentant la plus grande quantité d'os cortical. Les auteurs proposent que la conformation de la diaphyse, et non l'aire corticale, s'adapte en fonction des stimuli afin de résister aux contraintes mécaniques avant la maturation. Une augmentation de l'aire corticale suivrait en réponse à la continuation de ces contraintes. Si la conformation osseuse s'est adaptée de manière adéquate aux contraintes, il n'est alors plus besoin d'augmenter de manière importante l'aire corticale. Les femmes résisteraient mieux aux forces de compression et de tension tandis que les hommes répartiraient les forces de flexion et de torsion plus efficacement le long de la diaphyse. En effet, bien que les hommes aient une plus petite aire médullaire et une plus grande aire corticale, la robustesse générale (J), résistance aux forces de flexion et torsion, est plus élevée chez eux que pour les femmes. Si l'on considère le niveau d'intensité des contraintes alors cela signifie que les hommes ont une intensité des activités plus importante que celles des femmes. D'autres facteurs non exclusifs pourraient expliquer ce phénomène. Au vu de l'âge des sujets sélectionnés, on peut écarter ce facteur comme ayant diminué l'os cortical et augmenté l'aire médullaire. La production d'hormones durant la croissance peut avoir ici outrepassée l'influence des facteurs mécaniques. Les différences hormonales entre les sexes amènent les femmes à avoir des aires

corticales plus importantes en fonction de la masse corporelle maigre ainsi que des aires musculaires plus importantes par rapport aux hommes (Schoenau et al. 2000, Ruff 2003, Seeman et Delmas 2006). Cette différence est d'autant plus prononcée pour le membre supérieur. Cependant, il est difficile de distinguer entre les facteurs génétiques, développementaux, environnementaux et biomécaniques.

Si l'on s'intéresse à l'aspect osseux des enthèses, l'insertion du muscle biceps brachial est parmi les plus remaniée du membre supérieur pour l'ensemble des sujets, tout comme celles des muscles subscapulaire et infra et supra épineux (à droite). L'insertion des muscles épicondyliens médiaux est parmi les moins remaniées.

Les insertions des muscles subscapulaire et infra et supra épineux (coiffes des rotateurs) ne sont pas spécifiques à des contraintes, tout comme celles des muscles épicondyliens plutôt remaniées, elles, chez des individus actifs (Commandré 1977, Rodineau 1991, Villotte 2008a). L'insertion des muscles épicondyliens médiaux plus précisément est attribué à la pratique du lancer (Commandré 1977, Dutour 1986, Dutour 1989, Bramhall et al. 1994, Dutour 2000, Coudreuse et Parier 2003, Ouellette et al. 2008, Villotte 2008a).

F. Commandré (1977) et S. Villotte (2008a) observent une atteinte de l'insertion du muscle biceps brachial chez les travailleurs soulevant des charges lourdes fréquemment, coude à demi fléchi pour le premier. F. Commandré (1977) remarque que ce marqueur accompagne plus volontiers les individus ayant une occupation demandant une supination régulière. S. Villotte (2008a) souligne qu'il est difficile d'attribuer des mouvements particuliers d'après les fréquences de cette insertion en filant la proposition de E. Crubézy (1988) selon laquelle les remaniements de cette dernière sont asymptotiques. Nous ne nous risquons pas à l'attribuer à une activité précise mais remarquerons qu'il semble apparaître au sein de population pratiquant des activités physiquement intense du membre supérieur (Commandré 1977, Garela et Garralda 1993, Villotte 2008a). En effet, il faut garder à l'esprit que la détermination de la pratique d'activités précises est rendue difficile par plusieurs critères (Robb 1998 et cf I.2.2.3) :

- Le caractère discutable de la comparaison des fréquences des différentes insertions,
- le principe d'actualisme des études cinématiques des activités actuelles,
- l'ontogénie des remaniements osseux au niveau des enthèses,
- l'absence de spécificité de certains marqueurs

IV.3.1.1 *Analyse de l'asymétrie bilatérale du membre supérieur des sujets de l'hypogée des Boileau*

L'étude de l'asymétrie bilatérale va être utilisée afin de détecter les spécificités de l'exécution des activités au niveau du membre supérieur. Celle-ci est plus importante pour tous les indicateurs du membre supérieur que ceux du membre inférieur. Cela est en accord avec les études précédentes montrant que l'asymétrie du membre inférieur est faible (Plochocki 2004, Auerbach et Ruff 2006). En comparant l'asymétrie des mensurations osseuses (longueurs et dimensions articulaires) et celle des diamètres des diaphyses, cette dernière est bien plus élevée. Selon B. Auerbach et C. Ruff (2006), cela serait dû au remodelage osseux.

Aucune asymétrie bilatérale significative n'a été mise en évidence pas plus qu'un dimorphisme sexuel de cette dernière pour chaque indicateur de l'activité. Seuls quelques individus se démarquent de l'échantillon. Selon les indicateurs, il s'agit parfois de sujets différents mais les mêmes individus se démarquent de manière régulière. Nous y reviendrons lors de l'étude de la spécialisation des tâches.

La plupart des études démontrent la présence d'un côté dominant et donc de la cohabitation apparente à différents degrés, d'activités unilatérales et bilatérales selon les populations avec divers indicateurs (Weiss 2005, Sládek et al. 2007, Holt et Formicola 2008, Marchi 2008, Weiss 2009b, a). Mais une absence de dimorphisme sexuel de l'asymétrie bilatérale pour une population de type pasteurs-agriculteurs a déjà été observée (Bridges 1989, Marchi et al. 2006, Nikita 2011). Comme précédemment, ces modifications squelettiques sont parfois mises en relation avec un changement de stratégie de subsistance et les comportements que cela entraînent comme chez les populations amérindiennes d'Amérique du Nord (Bridges 1989, Bridges et al. 2000). Certaines études font aussi un lien avec le sexe (Weiss 2009a). Le dimorphisme de l'asymétrie diminue entre les sexes car l'asymétrie bilatérale des sujets masculins baisse. Le rôle social des femmes resterait figé et les hommes endosseraient une charge de travail plus importante lors du passage de la prédation à la production (Murdock et Provost 1973). D'autres travaux montrent que chez les femmes l'asymétrie diminue selon les outils employés lors de mise en culture. Celle-ci peut nécessiter les deux bras chez les populations amérindiennes d'Amérique du Nord (Bridges 1989). Une fois encore, une stratégie de subsistance n'est pas le seul facteur à prendre en compte pour expliquer les variations de l'asymétrie du membre supérieur.

D. Marchi et collaborateurs (2006) expliquent la diminution de l'asymétrie bilatérale chez les hommes entre le Paléolithique supérieur et le Néolithique moyen par l'augmentation d'activités bilatérales notamment d'essartage (défrichage, émondage, élagage...) dans un but plutôt pastoral. Celle des femmes serait due à leur rôle dans la préparation des aliments et notamment l'utilisation de meules induisant les mêmes contraintes sur les antimères. Les travaux de E. Nikita et collaborateurs (2011) s'intéressent à de populations sahariennes agro-pastorales (900 av. J.-C.-500 apr. J.-C.). Ils observent que l'absence de dimorphisme de l'asymétrie au sein d'une des populations rejoint les travaux déjà effectués sur des populations agraires et qu'elle est peut-être preuve d'une spécialisation plus importante dans les populations où elle se manifeste.

Dans notre cas, **la pratique d'activités uniquement bilatérales et/ou bien d'activités unilatérales peu intenses** peut expliquer cette absence d'asymétrie bilatérale significative. Il en va de même pour son dimorphisme sexuel. Les activités pratiquées induisent un **investissement physique équivalent** sur les antimères au sein d'un même sexe et entre les sexes.

IV.3.2 Membre inférieur et mode d'exécution des activités : posture et mobilité au sein de l'hypogée des Boileau

La robustesse, la conformation et les manifestations osseuses du membre inférieur sont utilisées afin de définir la mobilité et le mode postural des individus (Ruff et Hayes 1983, Ruff et al. 1984, Ruff 1987, Bridges 1989, Churchill et Morris 1998, Boule 2001, Bard 2002, Holt 2003, Eshed et al. 2004, Weiss 2004, Ruff et al. 2006, Sládek et al. 2006, Sparacello et Marchi 2008, Villotte 2008a). Un épaissement de l'os cortical du fémur, une conformation proche de la platymérie (diaphyse fémorale aplatie antéro-postérieurement) et des fréquences hautes des lésions enthésopathiques sont associés à un mode de vie plus mobile. Le tibia et la fibula sont eux aussi sensibles aux modes locomoteurs et posturaux (Lovejoy et al. 1976, Shaw et Stock 2009b, Marchi et Shaw 2011). Des travaux sur des athlètes modernes (Shaw et Stock 2009b) montrent que la conformation est différente selon l'activité pratiquée : course ou hockey. Le développement antéro-postérieur est plus important chez les coureurs, répercussion d'une mobilité accrue. D'autres travaux basés sur la comparaison de chasseurs-cueilleurs et d'agriculteurs-éleveurs mettent en avant le fait qu'ils possèdent des conformations et des surfaces corticales différentes (Ruff 2008). Les agriculteurs-éleveurs possèderaient des diaphyses structurellement moins renforcées, plus arrondies et des lésions enthésopathiques différentes et/ou moins nombreuses (cf début paragraphe).

Quasiment tous les indicateurs présentent des différences significatives selon le sexe pour le membre inférieur. Les sujets masculins possèdent à chaque fois les variables les plus élevées. Leurs os sont plus longs, leur indice de robustesse plus importants de manière significative ou proche du seuil de signification. Leur indice diaphysaire montre que les hommes possèdent une diaphyse moins arrondie que celle des femmes, plus particulièrement pour le tibia. Il y a prédominance des lésions enthésopathiques du membre inférieur sur celles du membre supérieur, isolées ou dans leur ensemble. Selon la géométrie de section, les diaphyses fémorales masculines sont structurellement plus renforcées et bien qu'elles subissent un aplatissement médio-latéral, celui-ci est plus important chez les femmes. En ce qui concerne les caractères morphologiques ostéoarticulaires, seule la facette de Poirier est significativement plus présente chez les hommes. En plus des facteurs biomécaniques, la taphonomie influence de manière significative ces résultats. En effet, les facettes d'accroupissement apparaissent de concert sur le tibia et le talus mais l'absence ou une mauvaise préservation de l'un des os a souvent entraîné un déséquilibre dans les données récoltées. Au niveau des chevilles, la comparaison des indicateurs ne met pas en évidence de différence entre les sexes.

La précédente étude biométrique classique menée sur la série des Boileau montre que les membres inférieurs des hommes sont plus robustes que ceux des femmes et rejoint nos résultats (Devriendt 2004a). Les périmètres et diamètres au milieu surtout sont fortement discriminants.

Au sein de l'hypogée des Boileau, les sujets montrent à la fois un dimorphisme lié au renfort structurel de la diaphyse mais aussi de la conformation pour le membre inférieur de manière générale. Les hommes présentent une mobilité plus importante que celle des femmes et les activités qu'ils pratiquent sont physiquement plus intenses. En ce qui concerne les caractères morphologiques ostéoarticulaires, l'échantillon des Boileau présente de manière générale une fréquence importante des marqueurs posturaux d'accroupissement. Les caractères morphologiques ostéoarticulaires du membre inférieur indiquent que les activités sollicitaient comme mouvements récurrents l'abduction/adduction des jambes, la rotation des jambes, une genuflexion et une flexion de la cheville importante. Ces données rejoignent celle des lésions enthésopathiques mais seulement à l'échelle générale de l'échantillon puisqu'elles ne mettent pas en évidence de dimorphisme sexuel. L'absence de dimorphisme sexuel ne signifie pas qu'il n'existe pas, vu que la taphonomie touchant les facettes d'accroupissement brouille quelque peu la représentativité des tests statistiques. Les fréquences élevées des lésions enthésopathiques, collective et par insertion, seraient liées à une mobilité plus importante chez les hommes. En s'intéressant aux plus élevées, FPF (muscle petit fessier) et FMF (muscle moyen fessier), on se

rend compte que ces muscles jouent un rôle dans les mouvements d'abduction, de rotation médiale (et latérale pour le moyen fessier). Le petit fessier joue un rôle secondaire dans la flexion de la jambe.

En croisant ces données, il ressort que de manière générale la mobilité des hommes est plus importante que celles des femmes et que leurs activités sont plus prégnantes. Au niveau du mode postural, les activités masculines demandent des mouvements d'adduction-abduction, de flexion dans une certaine mesure et de rotation de la jambe plus importants. Les deux sexes favorisent des modes posturaux nécessitant une genuflexion et une flexion de la cheville. Il y a ici une réelle différence de comportements entre les sexes à la fois dans l'intensité des activités mais aussi dans le type d'activités pratiquées. Cependant, on se rend compte aussi à l'échelle de l'échantillon, qu'il y a une récurrence d'un mode postural accroupi.

Les études portant sur des séries européennes préhistoriques montrent des différences significatives de la robustesse et de la conformation des propriétés géométriques pour tous les os entre les sexes (Sládek et al. 2006, Marchi et al. 2006, Sládek et al. 2007, Marchi 2008, Sparacello et Marchi 2008). Cette absence de dimorphisme sexuel au niveau du membre supérieur mais sa présence au niveau du membre inférieur se retrouve dans les travaux de E. Nikita et collaborateurs (2011) concernant des séries ostéologiques sahariennes. Chez certaines d'entre elles, les hommes pratiqueraient des activités agro-pastorales expliquant leur plus grande mobilité.

Les activités masculines semblent demander une **mobilité générale plus importante et des sollicitations différentes** par rapport aux femmes de certaines zones du squelette (épaule, avant-bras gauche, hanche). **Des différences de comportement** émergent et peuvent signaler **une division sexuelle des tâches** au sein de cette société. Cependant, **l'investissement des femmes n'est pas différent de celui des hommes pour le membre supérieur** et, si la mobilité diffère, **les modes posturaux récurrents ne sont pas éloignés entre les sexes pour le membre inférieur**. La principale différence réside plutôt dans **la mobilité et dans l'investissement physique** fournis par les hommes par rapport aux femmes pour le membre inférieur. Comme certains auteurs déjà cités, nous pourrions proposer la pratique d'activités plus liées à l'élevage ou encore à la chasse pour les hommes. Le degré de mobilité des hommes est plus important que celui des femmes et leurs activités sont physiquement plus stressantes pour le membre inférieur et sur des zones précises pour le membre supérieur.

IV.3.2.1 *Les sujets de l'hypogée des Boileau sont-ils atteints par le syndrome du cavalier ?*

Certaines des données observées ici (empreinte coxale, facette de Poirier, fosse d'Allen, enthésopathies fémorales, patellaires et calcanéennes, renfort structural de la diaphyse fémorale...) sont parfois associées à la pratique de l'équitation (Dutour 1986, Dutour 1992, Miller 1992, Pálfi 1992, Blondiaux 1994, Reinhard et al. 1994, Crubézy et al. 1998b, Capasso et al. 1999, Erickson et al. 2000, Fossurier 2011, Baillif-Ducros et al. 2012, Martel 2012). Dans un contexte archéologique où la pratique cavalière est régulière, certains travaux ont dressé la liste des lésions redondantes que l'on pourrait y associer. Ces lésions, bien qu'elles puissent différer entre auteurs, sont principalement des atteintes de l'aspect osseux des enthèses et des surfaces articulaires. L'ovalisation de l'acétabulum est considérée de manière récurrente par les auteurs comme un marqueur de cette pratique. On peut aussi noter dans ce cas les muscles adducteurs bien que le lien entre leur insertion sur la diaphyse fémorale et l'activité soit remis en question (Villotte 2008a). Tous ces marqueurs correspondent aux mouvements de flexion/hyperflexion et d'adduction découlant de l'équitation. Les atteintes sont bilatérales la plupart du temps. Pour une revue complète des marqueurs considérés par la littérature sur ce sujet, voir C. Baillif-Ducros et collaborateurs (2012) et M. Martel (2012).

Nous allons donc examiner les indices sur la présence et les modalités d'utilisation du cheval afin de savoir si on peut relier ces manifestations osseuses à l'équitation. Cependant, l'utilisation domestique du cheval n'est pas régulière avant la fin de l'âge du Bronze (Courtin 1978, Brugal et al. 2001). Il est rarement identifié sur les sites néolithiques. De rares éléments fauniques ont été retrouvés pour la fin du Néolithique à Gravas et à Cambous dans l'Hérault et au Plan des Vaches dans les Bouches du Rhône (sites supposés non campaniformes) ou sur des sites dits du Campaniforme comme aux Calades dans les Bouches du Rhône (Blaise 2010). Les restes osseux ne permettent pas de déterminer s'il s'agit d'une domestication précoce au Néolithique final. La diffusion du cheval par des populations campaniformes et/ou par acculturation au Campaniforme est une problématique épineuse de par le faible nombre de restes fauniques, de sites et les doutes planants sur les datations (Blaise 2010). Certains auteurs estiment malgré cela qu'il est possible d'avoir un lien entre le phénomène campaniforme et l'élevage du cheval (Courtin 1978, Blaise 2010). On retrouve des représentations plus anciennes de la traction animale par des chevaux en Espagne (Arbogast et al. 2002). Les premières traces archéologiques dans nos régions datent de l'âge du Bronze comme les gravures rupestres du mont Bego et dans la vallée de Fontanalbe (Alpes-Maritimes) représentant des bœufs et de

l'équipement de traction (joug). Les principaux témoignages sont loin de la Provence et n'ont aucune certitude archéologique quant à l'utilisation de la traction animale par la population de l'hypogée des Boileau bien qu'elle soit possible. En effet, E. Blaise (2010) montre que la gestion des troupeaux sous-entend l'utilisation de la force de travail des bovins et non du cheval. En examinant les témoignages de la traction animale, le bœuf semble avoir été plus utilisé que le cheval car il s'agit d'équipement lourd (Pétrequin et Pétrequin 2005). Il semblerait à ce jour que le cheval n'ait pas été mis à contribution dans la traction animale pour notre période. Selon ces données, il n'est pas possible de lier les marqueurs de notre population à la pratique de l'équitation. **Nous estimons qu'il est peu probable vu ces données que ces marqueurs soient dus à la pratique de l'équitation au sein de notre population. D'autres types d'activités** peuvent engendrer cet ensemble de marqueurs impliquant des mouvements conséquents de flexion, d'adduction-abduction et/ou rotation des jambes lors par exemple d'une posture accroupie. Certains de ces marqueurs apparaissent dans l'étude consacrée à cette posture par E. Boule (1998).

IV.3.3 **Mise en contexte des modes d'exécution chez les sujets de l'hypogée des Boileau**

IV.3.3.1 *Indicateurs de l'activité et stratégies de subsistance des sujets de l'hypogée des Boileau*

La stratégie de subsistance est comprise ici comme l'ensemble des occupations ou activités interdépendantes par lesquels les sujets obéissent aux conditions matérielles d'existence du groupe. Nous allons tenter de voir si une stratégie de subsistance particulière peut expliquer nos modèles d'activités.

En Europe, depuis les débuts du Paléolithique supérieur jusqu'à nos jours, une diminution de la robustesse générale a été mise en évidence (Fruyer 1981, Ruff et al. 1993, Holt et al. 2000, Holt 2003, Marchi 2006, Ruff 2008). L'explication favorisée est celle de l'innovation technologique diminuant l'investissement physique qu'un individu doit fournir (Ruff 2008). Certaines études mettent en lien cette diminution de la robustesse avec la stratégie de subsistance et plus généralement le mode de vie. L'augmentation de la sédentarité et une réduction de la charge de travail agricole en seraient les causes principales (Fruyer 1981, Ruff et al. 1984, Ruff 1987, Larsen 1995, Ruff et Larsen 2001). Cette baisse de robustesse s'accompagnerait aussi d'une diminution du dimorphisme sexuel. Ainsi Fruyer (1981) met en avant le fait que la chasse

des « grands mammifères » entraîne une robustesse plus importante des hommes au Paléolithique supérieur que les chasses pratiquées après leur extinction durant le Mésolithique. Les populations plus récentes bénéficient de technologies plus développées. Les changements mésologiques et les comportements ont donc entraîné à la fois une diminution de la robustesse et du dimorphisme sexuel.

D'autres études sont moins catégoriques. D. Marchi et collaborateurs (2006) montrent que les sujets masculins du Néolithique moyen pasteurs-agriculteurs possèdent des diaphyses humérales plus robustes que les sujets chasseurs-cueilleurs du Paléolithique supérieur en Europe. Les travaux de P. Bridges (1989, 1992, 2000) par géométrie de section démontrent que la culture du maïs chez les populations américaines induit des sollicitations mécaniques plus prégnantes que la pratique de la chasse et de la cueillette. Les femmes sont très investies dans la production de ce légume dans les populations amérindiennes de l'Illinois de la période sylvicole (II^{ème} millénaire av. J.C.- I^{er} millénaire apr. J.C.) aux cultures mississippiennes (IX^{ème} siècle –XVII^{ème} siècle apr. J.-C.). La période sylvicole est considérée comme celle de la sédentarisation caractérisée par le développement de l'agriculture et les populations sont à la fois composées de chasseurs-cueilleurs et des premiers agriculteurs (*idem*). A l'encontre des stéréotypes définissant la chasse comme plus importante que la cueillette et l'agriculture, A. Testart (1986) démontre que tout dépend du type de chasse favorisé et que cette dernière contient une grande part statique, impliquant une mobilité logistique moins élevée qu'on ne pourrait donc le croire. Les travaux de V. Eshed et collaborateurs (2004) s'intéressent aux populations natoufiennes et néolithiques au Levant afin de comparer l'influence de leurs stratégies de subsistance respectives sur le squelette. Vers les IX^{ème} et VII^{ème} millénaire av. J.-C., la stratégie de subsistance chasse-cueillette pratiquée au Natoufien aurait progressivement basculée vers une stratégie tournée vers l'agriculture au Néolithique précéramique A et l'élevage au Néolithique précéramique B (Bar-Yosef 2001). Ces travaux montrent que les enthèses féminines à proximité du coude et proche du poignet sont plus développées que celles des hommes chez les deux types de populations. L'investissement consenti pour la subsistance peut parfois varier assez peu entre les populations d'agriculteurs-éleveurs et de chasseurs-cueilleurs (Panter-Brick 2002). Ces travaux soulignent que le dimorphisme sexuel ne diminue pas forcément lors du passage à l'agriculture, des facteurs mésologiques et culturels sont à prendre en compte.

Les changements de comportement entraînés par une stratégie de subsistance sont donc dépendants de facteurs culturels et environnementaux et une même stratégie de subsistance n'induit pas forcément des comportements semblables chez des populations distinctes. **Il n'est**

donc pas possible de relier avec certitudes des modèles d'activités à une stratégie de subsistance précise. La manière dont un groupe envisage sa stratégie est constituée d'une mosaïque de possibilité entre différentes stratégies et au sein d'une même stratégie. Tous les individus ne pratiquent pas forcément les mêmes occupations, des spécialisations peuvent exister.

IV.3.3.2 *Indicateurs de l'activité et division sexuelle des tâches des sujets de l'hypogée des Boileau*

Dans cette partie, nous allons étudier l'existence d'une relation entre les variations des indicateurs selon le sexe et une division sexuelle des tâches. Dans un premier temps, nous nous pencherons sur des exemples d'analyses fonctionnelles explorant cette problématique avant d'essayer de percevoir s'il existe une division sexuelle des tâches dans notre population.

Le dimorphisme sexuel est bien souvent relié à une sexualisation des tâches par les auteurs. Typiquement, les hommes pratiqueraient des activités « extra-domestiques » physiquement plus prégnantes que celles des femmes limitées principalement à l'espace domestique (Lee et DeVore 1968, Murdock et Provost 1973). Les premiers seraient plus concernés par la chasse, les travaux agricoles et le pastoralisme quant aux femmes la cueillette, la conservation, la préparation des aliments et la gestion des enfants seraient leur gamme d'occupation. D. Marchi et collaborateurs (2006) comparent des populations de chasseurs-cueilleurs paléolithique et mésolithique à des populations d'agriculteurs-éleveurs du Néolithique moyen en Italie du Nord par l'analyse des propriétés géométriques de sections transverses. Un dimorphisme sexuel du membre supérieur est mis en évidence pour les sujets du Néolithique moyen. Il est expliqué pour les femmes par des occupations liées à la production et à la préparation des aliments et pour les hommes à l'essartage et à des activités pastorales. Les travaux de V. Eshed et collaborateurs (2004) montrent que les enthèses féminines à proximité du coude et en partie distale de la diaphyse sont plus développées que celles des hommes. Ces enthèses sont des sites d'insertion pour des muscles principalement responsables des mouvements de la main. Les auteurs y voient la preuve d'activités demandant plus de finesse pour les femmes chez les deux populations telles que la vannerie, le tissage, l'entretien des cultures, la conservation et la préparation des aliments.

A contrario, des études montrent que les femmes peuvent pratiquer des tâches aussi marquantes que celles des hommes. Une division des tâches n'est alors pas visible dans l'investissement physique fourni. E. Weiss (2003b) s'intéresse à des populations amérindiennes du nord-ouest américain payant de manière intensive sur océan ou rivière ou pas du tout. Elle montre que certaines femmes possèdent une robustesse humérale plus importante que les hommes à cause de leur mode de vie difficile dans un des groupes payant. E. Nikita et collaborateurs (2011) mettent en évidence pour des populations sahariennes un dimorphisme réduit du membre supérieur par rapport aux autres groupes en accord selon les auteurs à leur stratégie de subsistance agro-pastorale par géométrie de section. I. al-Oumaoui et collaborateurs (2004) montrent la complexité de la sexualisation des tâches par l'étude de populations de périodes distinctes (Age du Bronze et Moyen-Age) et de confessions distinctes (chrétienne et musulmane) selon les lésions des entèses. Si pour les populations de confession musulmane, la sexualisation des tâches existent, pour d'autres les femmes pratiquent des activités aussi prégnantes que celles des hommes, notamment au Moyen-Age chez les sujets de confession chrétienne. Un facteur culturel peut expliquer un investissement physique différent selon le sexe. A l'encontre des stéréotypes définissant la chasse comme typiquement masculine, A. Testart (1986) présente des populations de chasseurs-cueilleurs modernes où les femmes participent à celle-ci. Les travaux de C. Panter-Brick (2002) sur diverses populations Holocènes montre que les populations pratiquant l'agriculture montreront une plus grande mosaïque de comportements concernant l'investissement selon le sexe.

Selon ces différentes études, la variabilité et la complexité des comportements sont visibles d'une population à l'autre même pour celles possédant des stratégies de subsistance perçues comme similaires. D'autres facteurs sont à prendre en compte au-delà d'une seule stratégie de subsistance pour expliquer une éventuelle division sexuelle des tâches. **L'absence de dimorphisme sexuel significatif du membre supérieur correspond-t-il à une absence de division sexuelle des tâches dans notre série ?**

C. Lévi-Strauss (1956) définit la division sexuelle des tâches comme n'étant pas une spécialisation biologique. Pour lui, elle tend à rendre les sexes complémentaires afin de forcer la formation d'unions nécessaires à la survie et à la filiation. La forme que prend la division sexuelle des tâches ne compte pas, le point important est son existence quasi universelle. A. Testart (1986) montrent que des facteurs idéologiques et économiques participent à la division sexuelle du travail et ses variations. Parmi les études de genre, G. Rubin (1975) définit un

« système sexe/genre » afin d'appréhender la subordination des femmes et ses origines. Ce système comprend les processus qui donnent au sexe biologique une construction sociale, le genre. La division des tâches selon le sexe a pour but de marquer la différence entre eux. Chaque individu intègre ainsi socialement son sexe biologique et se démarque clairement de l'autre. La sexualisation du travail est donc au cœur de la création du genre. Ce dernier est aussi défini par J. Butler (1990) comme une performance. Il est intégré et exécuté quotidiennement de manière volontaire. Les individus intériorisent des discours et des actes expliquant ce qu'est le genre, et, en les mettant en pratique, le crée en même temps qu'ils le définissent. C. Delphy (2001) énonce que la construction sociale du genre n'imité pas le naturel, et ne découle pas d'une division biologique. Le sexe biologique devient une catégorie de pensée, perceptible comme un marqueur de division, uniquement par sa construction sociale.

D'après ces études, on ne peut pas envisager une absence de division sociale du sexe biologique au sein de notre échantillon car nous restons au niveau « physique » des activités. **Il est possible de percevoir des différences dans les modes d'exécution des activités au niveau du squelette de notre échantillon. Des différences de comportements sont aussi perceptibles en s'intéressant au membre inférieur concernant le degré de mobilité et la posture. On peut s'interroger sur la forme que revêt la division des tâches et sur la perception de l'investissement du travail féminin.** L'investissement physique comprend toutes les caractéristiques définies dans la partie n°I.2.2.1 et l'investissement social d'une activité ou occupation est la représentation/connotation socio-culturelle s'en dégageant. Les femmes participent aux activités nécessaires à la vie du groupe avec un investissement physique équivalent à celui des hommes au moins pour le membre supérieur. Cet investissement est peut-être reconnu et intégré socialement au sein du groupe. Néanmoins, la différence que nous percevons ne se situe qu'au niveau de l'investissement physique et nous ne pouvons pousser plus loin d'autant qu'à l'échelle du squelette les activités semblent différentes entre les sexes.

IV.3.3.3 *Indicateurs de l'activité et activités spécialisées des sujets de l'hypogée des Boileau*

Dans un premier temps, nous allons discuter de la comparaison des profils de variation de l'asymétrie du membre supérieur des individus atypiques pour voir comment ils varient par rapport au même profil médian de notre population. L'objectif était de déterminer si les sujets

atypiques pratiquaient des activités spécialisées comme ceux définis par G. Perréard Lopreno (2007).

Une des régions les plus susceptibles de s'adapter à une activité sur l'humérus se situe dans la partie proximale de la diaphyse pour l'aire corticale (AC), l'aire totale (AT) et le pourcentage d'aire corticale ou %AC (Perréard Lopreno 2007). Plus elle sera intense et spécialisée, plus on constatera une réduction de l'asymétrie de l'aire corticale pour une aire totale restant équivalente. Il y aura donc une épaisseur corticale plus importante à gauche qu'à droite. Cela est plus flagrant entre les sujets spécialisés et non actifs. Les deux ratios de conformation témoignent de différence selon le groupe d'occupation en termes de direction générale et de répartition de la conformation. Les activités de la vie quotidienne moderne diminuent tous les paramètres et donc l'asymétrie.

Comme l'a montré G. Perréard Lopreno (2007), la distinction entre une activité agricole et spécialisée peut s'effectuer sur le tiers proximal de l'humérus. Une robustesse plus importante de %AC chez l'humérus gauche est constatée pour les spécialistes « lourds⁴ ». Cette robuste entraîne un développement plus symétrique de la quantité d'os cortical car il y a une augmentation de l'asymétrie négative. Enfin, l'asymétrie de la largeur bicondyalaire de l'épiphyse distale diminue avec une latéralisation à droite pour les agriculteurs (Perréard Lopreno 2007). Lors de la comparaison entre sujets non actifs et spécialisés pour ce paramètre, il est possible de confondre l'asymétrie naturelle avec la fonctionnelle car il y a un développement d'une asymétrie naturelle du côté dominant. Concernant le radius, c'est l'asymétrie de la moitié proximale diaphysaire qui est sensible à la nature de l'occupation et le quart distal évolue différemment selon les sujets agriculteurs ou spécialisés. A 20%, l'axe de résistance principal s'oriente de manière plus antéro-postérieur chez les sujets spécialistes à droite. Concernant les dimensions externes, les diamètres antéro-postérieur et médio-latéral de l'épiphyse distale ont une asymétrie inversée, il y a latéralisation du diamètre médio-latéral à droite pour les spécialistes et latéralisation du diamètre antéro-postérieur à droite chez les agriculteurs. Les variations de ces deux diamètres dépendent du développement d'insertions musculaire (insertion du muscle brachio-radial et tubercule de Lister en lien avec les tendons extenseurs des doigts).

Au sein de notre échantillon, concernant l'humérus et pour chaque sexe, il y a une diminution du pourcentage d'aire corticale à partir de 50% de la diaphyse. Le pourcentage d'aire corticale le plus élevé est toujours du côté gauche. On ne peut pas discuter de l'asymétrie de la

⁴ Sujets pratiquant une occupation spécialisée demandant un investissement physique plus important par rapport aux autres sujets spécialisés

largeur bicondyalaire de l'épiphyse distale humérale. Nous ne disposons pas assez d'antimère ayant une bonne conservation pour calculer l'asymétrie de référence (échantillon total) de cette mesure.

Concernant le radius, chez les femmes, il n'y a pas d'asymétrie de l'orientation de l'axe de résistance principale. Ce dernier est plutôt orienté antéro-postérieur à droite puisque les contraintes subies sont plutôt médio-latérales. Chez les hommes, l'axe de résistance principale s'oriente de manière antéro-postérieure. Cette orientation est plus prononcée pour le côté droit. Enfin, chez les deux sexes on ne note pas d'asymétrie inversée des diamètres antéro-postérieur et médio-latéral de l'épiphyse distale.

L'ensemble de nos individus ne correspond qu'en partie aux critères des sujets dits spécialisés. Plusieurs sujets possèdent une asymétrie bilatérale atypique selon les propriétés géométriques de l'humérus et du radius. La comparaison des variations de l'asymétrie de ces individus 51, 61, 74, 79, 128, 131, 158 et 301 par rapport à l'ensemble de l'échantillon n'a pas livré de résultats probants et ne laisse pas entendre qu'ils pratiquaient des activités spécialisées. Les travaux de G. Perréard Lopreno (2007) soulignent la difficulté d'identifier la pratique d'activités spécialisées par l'ostéométrie classique et l'étude de la géométrie de section car la spécialisation ne laisse que de rares indices chez ces indicateurs. Nous avons donc comparé les variations de ces mêmes paramètres pour les individus ayant présenté un stade «C» pour n'importe quelle enthèse du groupe 1 : 52, 133 et 177. Dans tous les cas, les critères ne sont pas totalement complets bien que certains individus s'en approchent. Il ne nous a pas semblé pertinent d'effectuer cette comparaison selon les caractères morphologiques ostéoarticulaires vu qu'un seul d'entre eux a pu être observé sur le membre supérieur (empreinte du ligament costo-claviculaire, clavicule). Il faut aussi souligner que les travaux de G. Perréard Lopreno (2007) s'intéressent aussi à la géométrie de section de la clavicule que, pour des raisons de conservation, nous n'avons pas pu étudier. Il nous manque donc une partie des critères de différenciation entre activité générale et activité spécialisée. Enfin, les sujets sur lesquels les travaux se basent peuvent pratiquer une agriculture trop différente dans la pratique par rapport à celle pratiquée par nos sujets. Il faut donc prendre les hypothèses posées pour nos sujets avec une certaine prudence.

Certains sujets sortent du lot de manière régulière selon les indicateurs. Pour le membre supérieur, il s'agit de l'individu 133. Pour le membre inférieur, les sujets sont les 89, 230, 232 et 237. Enfin, chez les sujets 128, 176 et 177, l'ensemble des membres est concerné. Cependant, la plupart des individus ne semblent pas avoir de profil particulier. Pour certains d'entre eux, on

peut noter la présence isolée de CMO du membre inférieur faisant émerger une relation avec une zone particulière du squelette (hanche, genoux, cheville).

Les individus masculins 52 (biceps brachial) et féminin 133 (subscapulaire et infra et supra épineux) possèdent un remaniement majeur des enthèses du membre supérieur. L'empreinte du ligament costo-claviculaire n'est présente que pour le sujet 52. D'après ce qui a déjà été dit concernant l'insertion du muscle biceps brachial plus haut (cf IV.3.1), ces individus ont peut-être pratiqués des activités physiquement plus stressantes pour le membre supérieur que les autres.

Aucun d'entre eux ne possède un profil particulier selon les CMO du membre inférieur ni une conformation ou robustesse interne et externe de la diaphyse particulière. Les exceptions sont l'individu 133 qui présente un renfort structurel du radius atypique et l'individu 177 dont l'épaisseur corticale du tibia est aussi différente du reste de l'échantillon. De plus, le sujet 177 possède un remaniement majeur au niveau de l'insertion des ischio-jambiers et de l'ilio-psyas. On peut émettre l'hypothèse que cet individu pratiquait une gamme d'activités physiquement plus stressante que le reste de l'échantillon, peut-être spécialisée et/ou en lien avec la posture accroupie.

Des traces de violence inter personnelles et une mortalité élevée des hommes jeunes (20-29 ans) ont amené entre autre W. Devriendt (2004a) à émettre l'hypothèse d'une spécialisation guerrière pour les sujets masculins. Cependant, nos résultats ne nous permettent pas de l'affirmer bien que le sujet 89 soit l'un des sujets concernés. Les autres sujets blessés n'ont pas pu être sélectionnés pour notre étude.

Nous nous sommes penchés sur l'aspect des enthèses afin d'aller plus loin concernant la surmortalité masculine constatée par W. Devriendt par notre analyse fonctionnelle. Au vu des nombreuses pointes de flèches retrouvées *in situ*, la pratique de l'archerie n'est pas exclue des activités pratiquées. Lors de l'utilisation de l'arc, l'individu statique pousse d'un bras l'arc et de l'autre tire la corde. Les contraintes subies ne sont donc pas symétriques. Diverses études proposent plusieurs lésions enthésopathiques comme signe de la pratique de l'archerie, comprise comme un ensemble ou individuellement (Dutour 1986, Mann et Littke 1989, Rayan 1992, Lapostolle 2004, Molnar 2006) :

- à l'épaule : insertions des muscles infra et supra-épineux
- au coude : insertions des muscles des biceps et tricep brachiaux et des épicondyliens latéraux et médiaux.

D'après des données médicales, individuellement, la spécificité de ces atteintes à la pratique de l'archerie n'a pas été mise en évidence. Ces atteintes sont unilatérales sans préférence de latéralité et peuvent même parfois être bilatérales. De plus, l'archerie n'entraîne qu'une seule lésion, les comprendre dans leur ensemble n'est pas alors forcément significatif de la pratique de l'archerie (Mann 1994, Lapostolle 2004). Dans ces conditions, il semble peu judicieux d'attribuer la pratique de l'archerie à l'un de nos sujets.

Enfin, l'insertion du muscle épicondylien médial est attribuée par certains auteurs à la pratique du lancer. L'insertion du tendon des muscles épicondyliens médiaux et du ligament collatéral médial développe des lésions unilatérales du côté dominant lors de la pratique du lancer et chez des actifs comme les sportifs ou les travailleurs lourds (Commandré 1977, Dutour 1986, Dutour 1989, Bramhall et al. 1994, Dutour 2000, Coudreuse et Parier 2003, Ouellette et al. 2008, Villotte 2008a). La fréquence des atteintes à cette insertion est de 21% au sein de notre échantillon. Hommes et femmes présentent ce marqueur sans différence statistiquement significative. L'atteinte peut être sur l'un ou l'autre des antimères mais l'état des ossements empêche dans la plupart des cas l'observation la détermination du côté dominant. On ne peut donc avancer avec certitude la pratique régulière du lancer pour notre échantillon.

D'après ces données, des hypothèses non antinomiques peuvent alors être avancées concernant l'usage des armes, et par extension de la guerre et de la chasse :

- les sujets de l'hypogée des Boileau faisaient usage des armes de manière ponctuelle uniquement
- les sujets étudiés ne sont pas ceux pratiquant de manière répétée ces activités
- les phénomènes taphonomiques ne nous permettent pas de saisir la pratique réelle de ces armes.

Plus que la pratique d'activités spécialisées de nature distincte, nous émettons l'hypothèse que ces individus atypiques pratiquaient leurs activités de manière plus intensive et/ou plus répétées que le reste des sujets, hommes et femmes confondus. Nous ne rejetons pas l'hypothèse de la pratique d'activités spécialisées mais il nous est difficile d'affirmer son existence. Cela peut être considéré comme une forme de spécialisation mais plus dans le domaine du mode d'exécution que dans la nature de l'activité. Enfin, ces individus atypiques peuvent correspondre aux plus âgés de l'échantillon. Dans ce cas, on peut émettre l'hypothèse qu'ils ont juste pratiqué les activités sur un temps plus long que les autres sujets. Cependant, on

ne peut pas apporter plus de précision pour ces individus pour l'estimation de l'âge au décès après vérification.

IV.3.3.4 *Impact du milieu environnemental : la topographie a-t-elle influé sur les variations du tissu osseux chez les sujets de l'hypogée des Boileau?*

Parmi les facteurs environnementaux, la topographie peut avoir un impact non négligeable sur la robustesse des membres. Un relief accidenté va entraîner une robustesse plus importante ou une adaptation des types de déplacements pour le membre inférieur. Une adaptation du membre supérieur est aussi possible selon le milieu environnant.

Les travaux de C. Ruff (1999) montrent que des sujets résidant en milieu montagneux par rapport à des sujets installés en plaine ou sur les côtes ont un membre inférieur plus robuste. Des sujets pratiquant l'agriculture et l'élevage en Ligurie au Néolithique moyen possèdent une robustesse fémorale proche de celles de sujets pan-européens nomades du Paléolithique (Marchi et al. 2006). La topographie est accidentée dans cette région. Dans un second temps, ces travaux comparent ces individus du Néolithique moyen à des individus du Paléolithique issus de la même région pour confirmer cette robustesse fémorale importante (Ligurie). L'impact de la topographie apparaît donc. Les travaux de V. Sparacello et D. Marchi (2008) précisent qu'il est nécessaire que la mobilité atteigne un certain seuil afin que la topographie ait un réel impact sur la robustesse. Au-delà des différences entre les zones de montagne et de plaine, de nombreuses études se sont penchées sur l'influence de l'exploitation des cours d'eau et océans sur la robustesse des os. Le membre supérieur subit des sollicitations importantes accroissant sa robustesse et plus encore chez les populations maritimes que celles pêchant et circulant sur les rivières (Weiss 2003b). D'autres encore ont comparé les modes de vie terrestre et maritime. Les travaux de J. Stock et S. Pfeiffer (2001) s'intéressent à une population de la fin de l'âge du Fer du Sud-Afrique (v.10000-2000 B.P.) et une population insulaire des îles Adaman (19^{ème} siècle). Les premiers sujets ont une mobilité logistique très importante sans exploiter les ressources aquatiques contrairement aux seconds moins mobiles. La mobilité logistique désigne le déplacement et le retour d'un groupe spécialisé au lieu de résidence (Binford 1980). La mobilité résidentielle désigne les déplacements induits par le changement de lieu de résidence. Les tests

montrent que le membre supérieur des populations exploitant les ressources maritimes est bien plus robuste que celui de l'autre population. Le contraire est valable pour le membre inférieur.

L'environnement proche de l'hypogée est constitué de plaines et de basses collines (Figure 1). A ce jour, les auteurs s'accordent sur un mode de vie Néolithique final à forte consonance régionale. Il est proposé que ces groupes possèdent des territoires restreints. Dans ces conditions, on peut émettre l'hypothèse que l'accès à l'hypogée des Boileau était réservé à un groupe humain ayant un territoire propre même si aucune trace d'habitat contemporain n'a été signalée dans les alentours. **La topographie n'est pas assez accidentée pour avoir eu un impact majeur sur la robustesse des membres. De plus, aucun vestige à ce jour ne nous permet de penser que les déplacements sur l'eau et l'exploitation des ressources aquatiques locales étaient intensives bien que cela soit possible.**

IV.3.3.5 *Quel lien entre les artefacts associés aux défunts et les activités des sujets de l'hypogée des Boileau?*

Nous allons tenter dans cette partie de percevoir un lien entre mobilier associés et comportements des individus.

Le mobilier peut être associé à un individu mais peut aussi se rapporter au collectif associé à la sépulture. Deux espaces symboliques lui sont donc liés : l'espace individuel et l'espace collectif. Ces deux espaces peuvent cohabiter au sein d'une sépulture collective (Sohn 2006).

Le mobilier doit se comprendre selon son emplacement par rapport à l'espace funéraire comprenant la tombe et les limites proches, voire même la nécropole afin de pouvoir l'interpréter (Leclerc 1997). L'étude de la répartition spatiale permet ainsi de différencier le mobilier collectif et individuel tout en tenant compte de la structuration des dépôts. En plus de cela, il faut considérer leur état physique : choix de l'objet, neuf/usagé, brisé, ébauche... Le mobilier des sépultures en général peut ne pas être spécifiquement funéraire tout en étant moins varié et important que le mobilier domestique (*idem*). Il est majoritairement choisi dans la gamme du domestique et certains objets sont plus valorisés que d'autres. M. Sohn (2008) désigne la hache polie et la céramique comme principaux acteurs de la représentation de l'espace collectif ainsi que d'autres objets. Elle précise que le mobilier collectif n'est pas exclu de la gamme individuelle, le contraire n'étant pas forcément vrai. Les objets funéraires sont sélectionnés et

acquièrent une charge symbolique, une valeur emblématique qu'ils ne possédaient pas forcément dans la sphère des vivants. Il est possible qu'il existe une hiérarchie de leur valeur funéraire représentative (Sauzade 2012). Ils ne sont donc pas le reflet fidèle de la vie domestique et on ne peut s'y fier totalement afin de reconstituer leur valeur fonctionnelle puisque la symbolique de l'objet passe est primordiale (Sauzade 2012).

Les dépôts véritablement individuels constatés sont rares au sein des sépultures collectives car l'espace individuel peut être plus dur à percevoir (Sohn 2008). La certitude de la réalité d'un tel dépôt demande la réunion de plusieurs facteurs favorables comme un faible nombre d'individus, peu de remaniements, une utilisation courte de la sépulture ou encore un colmatage rapide de celle-ci (Sauzade 2012). Cette conjonction reste rare. Néanmoins, des offrandes individuelles peuvent être remarquées comme aux hypogées des Boileau, du Capitaine et de Roaix, Vaucluse (Sauzade 1976, 1977, 1983, Mahieu 2004). A l'hypogée du Capitaine, des éléments de parure ont été associés à un individu tout comme à l'hypogée des Boileau. Plusieurs vases sont associés à des sujets au sein de l'hypogée de Roaix pour la Couche 2.

Dans ce cas, il peut s'agir de mobilier porté ou d'accompagnement (Sohn 2008).

Les offrandes collectives peuvent avoir plusieurs significations non exclusives : fondation, consécration, commémoration et condamnation (Sauzade 2012). On peut citer le dépôt de pics et herminettes en galets calcaires et de galets à l'hypogée du Capitaine comme un exemple de rite consacrant la sépulture avant tout dépôt (Sauzade 1983).

Peu de mobilier provient de l'hypogée des Boileau, il sera donc difficile d'établir un lien entre ce dernier et les activités auxquelles il pouvait faire écho. Le mobilier a été trouvé au sein de l'hypogée mais ne nous ne savons pas à quels individus les artefacts étaient associés puisque nous n'avons pas eu accès à la documentation archéologique. On ne peut pas directement étudier la relation entre individus atypiques et objets associés. De plus, bien qu'un type d'objets associés à un individu suggère une gamme d'activités (Sohn 2006), il n'est pas précisé le degré de spécialisation de l'individu ni les autres activités que cet individu a pu effectuer au long de sa vie et pourtant enregistrées au niveau biologique (Kennedy 2000).

Néanmoins, les travaux de M. Sohn (2006) proposent l'opposition des activités de chacun des sexes en deux sphères d'occurrence grâce au mobilier associé aux défunts pour les sépultures collectives préhistoriques : "sauvage" pour les hommes et domestique pour les femmes. Un sexe est attribué à certains types d'objets et corrélé à un genre. Les activités ne se pratiquent pas dans les mêmes sphères sociales. Les hommes sont principalement rattachés aux armes et les femmes

à la parure. La céramique et les outils sont intermédiaires. Tant l'étude culturelle du mobilier que notre analyse biomécanique des individus proposent l'existence d'une division des tâches.

Si on se penche sur la vision prêtée aux activités masculines de la sphère « sauvage », il est proposé qu'elles démontrent la force et la virilité des sujets (Sohn 2006). Or, pour la division sexuelle des tâches mise en évidence au niveau biologique, les hommes et les femmes possèdent un investissement physique similaire du membre supérieur malgré quelques différences comportementales. Les femmes, appartenant à l'espace anthropisé dans la sphère symbolique, utilisent leurs membres supérieurs de manière équivalente aux hommes. On revient ici à la question de la reconnaissance sociale de l'investissement physique. Il y a un décalage entre les données culturelles et les données biologiques puisque les activités des hommes ne semblent pas physiquement nécessiter une force supérieure à celles des femmes. Nous ne pouvons pas ici discuter de la représentation des activités masculines, de la virilité de leur étant attribuée puisque nos observations s'effectuent au niveau physique. Nous nous contenterons donc de proposer cette division sexuelle des tâches en notant que les données culturelles avancent aussi une telle hypothèse.

Cette piste n'est donc pas celle à suivre directement pour tenter une reconstitution des activités de notre échantillon d'autant plus qu'on ne peut pas totalement se fier au mobilier pour une problématique telle que la nôtre. On voit ici qu'afin d'interpréter plus finement les activités journalières, le contexte archéologique et une étude du mobilier sont nécessaires à l'analyse fonctionnelle biologique. Cette dernière peut apporter des informations sur les comportements des populations mais non décrire les activités quotidiennes finement.

IV.4 Analyse fonctionnelle des différents ensembles funéraires collectifs vauclusiens

IV.4.1 Membre supérieur et modes d'exécution au sein des différents ensembles funéraires collectifs vauclusiens

Concernant l'hypogée du Capitaine, les modes d'exécution des activités ne semblent pas s'éloigner de ceux de l'hypogée des Boileau de manière générale. Les individus de l'hypogée du Capitaine présentent des variations de la robustesse générale et de la conformation le long du membre supérieur comprises dans la variabilité de l'hypogée des Boileau. Concernant l'hypogée de Roaix, le membre supérieur apparaît être dans la variabilité de la conformation diaphysaire

des sujets des Boileau et avec une robustesse notable. La différence notable est amenée par l'étude des CMO et des lésions enthésopathiques. La présence de l'acromion bipartite est significative chez les sujets de Roaix par rapport à toutes les autres séries ostéologiques. Mais si ce marqueur témoigne de la sollicitation intensive des muscles de la coiffe des rotateurs, les insertions de ces muscles ne subissent aucun remaniement osseux. D'autres facteurs que biomécaniques doivent intervenir ici et on se rappelle que le rôle biomécanique de ce marqueur est sujet à caution. Il est parfois perçu comme un caractère discret (Voisin 2012). A part ce point, il n'est pas possible de discerner de mouvements particuliers effectués au niveau du membre supérieur pour les sujets de Roaix. Enfin, les sujets de l'Ubac sont un peu plus nuancés. Les variations de la robustesse générale et de la conformation le long du membre supérieur sont dans la variabilité de l'hypogée des Boileau. Au niveau de la sollicitation des insertions musculaires, les individus de l'Ubac sont isolés par rapport aux hypogées du Capitaine et de Roaix. Il y a une faible sollicitation des muscles liés à l'acromion bipartite et à l'empreinte costo-claviculaire dans cet échantillon par rapport aux deux autres. Une légère différence de comportement apparaît ici. Les sujets du dolmen sont donc à la fois dans la variabilité de ceux de l'hypogée des Boileau pour la conformation et la robustesse générale du membre supérieur mais isolés d'après les mouvements qu'ils réalisent par rapport aux deux autres hypogées. Aucun individu atypique n'apparaît.

A cause des faibles effectifs, les hypothèses effectuées ici sont à considérer avec prudence et ne tiennent pas compte du sexe mais considèrent l'échantillon dans sa globalité. Il se peut que certains des sujets des autres échantillons soient des individus que l'on considérerait comme atypique si les effectifs étaient plus nombreux. Néanmoins, **les sujets ne semblent pas présenter des comportements extrêmement différents. Les modes d'exécution des activités varient sur la sollicitation plus ou moins importante de zones précises du squelette selon l'échantillon.** Les sujets du dolmen de l'Ubac et de l'hypogée de Roaix favorisent moins les muscles pectoraux que les autres. Les sujets du Capitaine et des Boileau sollicitent plus leurs biceps brachiaux que le reste des séries. Les modes d'exécution demandaient peut-être une flexion et une supination plus importantes de l'avant-bras pour ces individus. Aucun individu des trois échantillons de comparaison ne semble pratiquer d'activités spécialisées si l'on s'en tient à l'occurrence des CMO et des lésions enthésopathiques pour déterminer des comportements inhabituels. Cependant, cela reste limité encore une fois vu les effectifs réduits de chaque échantillon.

IV.4.2 Membre inférieur et mode d'exécution : posture et mobilité au sein des différents ensembles funéraires collectifs vauclusiens

Les variations de conformation et de robustesse générale de tous les échantillons sont dans la variabilité des sujets de l'hypogée des Boileau. Le degré de mobilité n'est pas tellement éloigné entre les sujets des différents échantillons. Les sujets devaient faire appel à une mobilité équivalente dans les activités pratiquées. La réelle différence entre les séries se situe au niveau des postures du membre inférieur. Pour les sujets de l'hypogée du Capitaine, la différence concerne surtout les hommes. Pour les femmes, on s'aperçoit que leur mode postural est proche de celles de l'hypogée des Boileau et isolé par rapport aux autres. Or, les femmes des Boileau font état d'une posture accroupie prononcée. Cela n'est pas le cas des femmes de l'hypogée du Capitaine. Les individus de cet hypogée (5) ne semblent pas pratiquer l'accroupissement autant que ceux de l'hypogée des Boileau. Il en va de même pour les sujets de l'hypogée de Roaix. Les sujets du dolmen de l'Ubac portent les signes d'un accroupissement régulier au niveau des chevilles pour les hommes et les femmes et leur mode postural est isolé par rapport aux hypogées du Capitaine et de Roaix. Aucun individu atypique n'apparaît.

Il y a donc ici quelques légères différences de comportement concernant les postures. Aucune de ces différences n'a pu cependant faire l'objet de tests statistiques uni ou bivariés vu les faibles effectifs. Elles restent donc à l'état de conjecture comme pour le membre supérieur. Elles semblent aussi assez ténues : de plus grands corpus seraient nécessaires à une vision plus fine.

IV.4.3 Mise en contexte des modes d'exécution des activités au sein des différents ensembles funéraires collectifs vauclusiens

IV.4.3.1 *Hypogée du Capitaine*

Il n'est pas possible de proposer une stratégie de subsistance précise pour les sujets de l'hypogée du Capitaine. En comparant les modes d'exécution, on s'aperçoit que la manière de pratiquer les activités n'était pas tellement différente entre les sujets de l'hypogée du Capitaine et ceux des Boileau. Les différences ne se situent pas au niveau de l'intensité, la répétitivité ou l'amplitude des sollicitations. Le degré de mobilité est dans la même gamme pour ces deux séries. On peut envisager que l'investissement physique demandé par leur stratégie de

subsistance soit équivalent. Il n'apparaît pas non plus d'asymétrie bilatérale importante chez les individus.

Concernant une éventuelle division sexuelle des tâches, malgré quelques différences de comportement, il n'y a pas de différence selon le sexe. Un plus grand échantillon est nécessaire pour affiner nos hypothèses.

En continuant sur la question des individus atypiques, aucun n'est mis en évidence. On ne peut donc pas discuter de la spécialisation des tâches. Les activités pratiquées sont principalement bilatérales.

Suite à l'étude paléobiologique et paléodémographique de l'hypogée des Boileau, W. Devriendt (2004a) estimait un profil paléopathologique plus marqué pour cet hypogée que pour celui du Capitaine et qu'il possédait des conditions socio-économique inhabituellement basses par rapport aux autres populations contemporaines. Ces conditions de vie ne semblent pas avoir amené des comportements extrêmement distincts entre les sites d'après nos données.

L'hypogée du Capitaine est installé sur un territoire plus accidenté que celui des Boileau. Cela reste néanmoins une zone de basses collines et plateaux. La topographie ne semble pas avoir eu un impact très important sur la robustesse des sujets.

Concernant le mobilier, cet hypogée est le seul pour lequel un acte de consécration de la sépulture soit attesté et ayant livré un grand nombre d'éléments de parure (Sauzade 1983, 2012). Une association entre des pièces de parures et un individu est constatée et une lame de silex porte des traces d'usure pouvant témoigner d'une utilisation agricole de l'objet. La parure n'est pas seulement un objet pratique. Chez les vivants, elle peut être ornementale, porteuse d'une connotation sociale (appartenance à un groupe, statut, prophylactique), rituelle ou même d'un statut économique (Polloni 2008). Chez les morts, la valeur peut être d'accompagnement, rituelle, protective ou indiquer le statut du défunt (*idem*). Il est difficile de savoir si elle a été offerte au collectif, à des individus en particuliers ou aux deux. La parure serait un mobilier plus identitaire que collectif (Salanova et Sohn 2007, Polloni 2008). Ceux-ci montrent que la parure sert à différencier les individus. Il nous est cependant difficile de discuter du statut particulier des individus en tenant compte de la parure vu qu'un seul cas est certain et qu'aucun des individus étudiés n'est atypique. Il est cependant probable qu'il en existe d'autres. La lame polie retrouvée témoigne d'activités agricoles sans que l'on puisse en conclure à son utilisation par un individu précis.

IV.4.3.2 *Hypogée de Roaix*

Tout comme chez l'hypogée du Capitaine, les modes d'exécution des activités des sujets de l'hypogée de Roaix sont proches de ceux de l'hypogée des Boileau. La nature des stratégies de subsistance ne peuvent pas être établie avec précision. Néanmoins, les activités qu'elles nécessitaient ne donnaient pas lieu à de grandes différences d'investissement entre ces séries ostéologiques.

Aucune division des tâches n'a pu être mise en évidence, pas plus que d'asymétrie bilatérale importante chez certains individus. Aucun d'entre eux n'est atypique par rapport aux autres. Les activités pratiquées sont principalement bilatérales.

Dans ce cas encore, la topographie ne semble pas avoir joué un grand rôle sur la robustesse des sujets.

Pour le mobilier, il est là encore difficile d'établir un lien entre activité pratiquée par nos sujets et les objets déposés dans cette sépulture collective malgré un cas de dépôt individuel (Sauzade 1998).

IV.4.3.3 *Dolmen de l'Ubac*

La stratégie de subsistance du dolmen de l'Ubac ne semble pas faire appel à des manières de pratiquer les activités très différentes de celle de l'hypogée des Boileau. Vu qu'un seul sujet masculin a pu être sélectionné pour ce site, nous ne pouvons pas discuter du dimorphisme sexuel et encore moins de la division sexuelle des tâches.

Aucun de ces sujets n'est atypique par rapport aux autres : les activités pratiquées semblent principalement bilatérale. Des trois sites, le dolmen de l'Ubac est celui où les preuves d'un accroupissement soutenu sont les plus marquées, surtout pour les femmes. On note sur ce point une différence comportementale par rapport aux autres sites d'après ces données. Pour être certains, il faudrait disposer d'un plus grand échantillon.

La topographie est accidentée comme pour les hypogées de Roaix et du Capitaine. Le degré de mobilité semble cependant être quasi semblable. La topographie n'a pas dû avoir un impact important sur la robustesse des sujets.

Enfin, contrairement aux hypogées, il y a de nombreuses déconnexions au sein du dolmen. Cependant comme pour eux, il n'est pas possible de relier le mobilier aux activités ou aux occupations des sujets.

En conclusion, les échantillons ne présentent pas des différences de comportement radicales. Tout en étant voisins, certaines distinctions sont notables dans le mode d'exécution. La mobilité ne paraît pas être différente et les individus du Capitaine, de Roaix et de l'Ubac entrent dans la variabilité de l'hypogée des Boileau concernant ce point. Une division sexuelle des tâches et la pratique d'activités spécialisées n'ont pas été mises en évidence. La sollicitation différente des muscles et les modes posturaux variables ne signifient pas forcément la pratique d'activités différentes entre les groupes. Il est possible qu'il s'agisse des mêmes activités mais dont l'intensité et la répétitivité diffèrent selon les échantillons. Ces hypothèses sont à considérer avec prudence vu le faible nombre d'individus sélectionnés et leur conservation. Si ces hypothèses paraissent laconiques, elles ont tout de même le mérite de mettre en avant l'homogénéité comportementale de différents groupes synchroniques tout en soulignant quelques spécificités.

Conclusion et perspectives

Dans un paysage culturel complexe, de nombreux groupes coexistent aux sphères d'influence centrifuges et centripètes, durant le Néolithique final en Provence. Notre problématique gravitait autour des gestes et activités des populations afin de restituer les routines domestiques, les interactions Homme-milieu et les mécanismes de distinction et différenciation sociale par une analyse biomécanique. Nos travaux avaient un double objectif dans cette optique. En premier, il s'agissait d'étudier conjointement les différents indicateurs de l'activité afin d'analyser le développement des divers indicateurs sous l'effet des contraintes mécaniques. Dans un second temps, nous nous sommes intéressés aux gestes et activités d'un ensemble funéraire collectif afin d'appréhender les modes d'activités des groupes du Néolithique final dans le midi de la France. Cette étude a été étendue à l'échelle départementale pour comparer les comportements des sujets entre quatre gisements vauclusiens.

Aucune relation directement due aux facteurs biomécaniques n'a été mise en évidence entre les propriétés géométriques des sections transverses et le développement des enthèses ou les caractères morphologiques ostéoarticulaires. Aucun ne va induire la présence d'un autre, ni influencer sur son développement. Leur concordance dépend de la spécificité des mouvements. On peut envisager que leur origine et les divers facteurs influant la morphologie de l'os puissent expliquer ce fait. Les indicateurs de l'activité se **complètent** dans les informations qu'ils apportent sur les contraintes mécaniques à l'échelle globale du squelette ou d'une zone précise. Les propriétés géométriques de section par rapport aux autres indicateurs sont moins dépendantes de la spécificité des sollicitations. Elles caractérisent fonctionnellement la morphologie de l'os de manière globale et non uniquement à l'échelle d'une insertion ou d'un marqueur.

Les activités pratiquées par les sujets de l'hypogée des Boileau sont principalement **bilatérales** et/ou bien il s'agit **d'activités unilatérales peu intenses** ce qui explique l'absence d'asymétrie bilatérale. Les femmes effectuent **des travaux aussi marquants physiquement** au niveau du membre supérieur que ceux des hommes. Cependant, il est possible de percevoir quelques différences comportementales. Les hommes pratiquaient aussi des activités nécessitant

une prono-supination plus soutenue de l'avant-bras gauche par rapport aux femmes. Par ailleurs, ils sollicitent de manière plus importante les muscles pectoraux et le ligament costo-claviculaire.

Ils ont pu pratiquer :

- **des activités différentes** et plus marquantes au niveau de ces muscles par rapport aux femmes pouvant impliquer le port de charges lourdes
- **une même gamme d'activités** que celles des femmes impliquant ces muscles mais de manière plus intense et pouvant impliquer le port de charges lourdes

Concernant le membre inférieur, les variables démontrent que les hommes ont un degré de mobilité plus important que les femmes et des **modes posturaux différents** : mouvements d'adduction-abduction, de flexion dans une certaine mesure et de rotation de la jambe plus importants. Pour tous les sexes, **la posture accroupie semble récurrente**.

Il n'a pas été possible de relier les gestes observés à des activités de subsistance précises. Nous proposons néanmoins l'existence d'une division sexuelle des tâches. Il n'a pas été mis en évidence d'individus pratiquant des activités dites spécialisées avec certitude. La topographie n'a pas eu un impact important sur la robustesse des sujets et le mobilier associé aux défunts ne livrent pas de pistes concrètes.

Les données sont peu nombreuses concernant l'analyse fonctionnelle inter-échantillons et il n'est pas statistiquement possible de les vérifier. Si la petitesse des échantillons limite la formulation d'hypothèses, néanmoins elle ne l'empêche pas. **Les échantillons ne présentent pas des différences de comportement radicales**. Les modes d'exécution des activités semblent **proches** et **le degré de mobilité ne varie pas** d'un extrême à l'autre entre les échantillons. Quelques différences apparaissent sans pouvoir être vérifiées au niveau des modes posturaux et de l'utilisation des muscles pectoraux et du ligament costo-claviculaire. Ces différents groupes synchroniques possèdent une **homogénéité des gestes** bien que ces hypothèses puissent paraître faibles de par les données peu nombreuses.

Nos travaux soulignent l'intérêt d'étudier conjointement différents ossements pour un même membre et squelette. En effet, sans cela, plusieurs nuances de comportements n'auraient pas été perçues.

Les deux objectifs de cette thèse étaient **originaux**. La comparaison du développement des indicateurs selon les contraintes mécaniques a rarement été explorée jusqu'ici. La reconstitution des comportements de populations n'a pas été effectuée jusqu'ici hormis d'après les artefacts archéologiques. Ces derniers laissent de côté l'acteur précis de l'activité et se focalisent sur l'objet et ses possibilités de maniement. Nos travaux ont permis de recentrer l'étude des gestes sur l'individu derrière l'objet. Au-delà des modèles généraux de mode de vie et de stratégie de subsistance connus pour la période à travers les vestiges archéologiques, nos travaux ont permis de nuancer les comportements aux échelles de l'hypogée des Boileau et départementale, apportant des informations là où auparavant il n'en existait pas.

Plusieurs perspectives de recherche à nos travaux sont possibles.

La gestion et le recrutement funéraire des sépultures collectives du nord de la France n'est pas semblable à ceux constatés dans le sud-est pour le Néolithique final (Chambon 2003). On y observe des aménagements tels que des coffres, des chemins ou des réductions bien plus nombreux qu'en Provence. Il serait intéressant d'étudier si on peut établir **un lien entre la localisation des défunts et le mode d'exécution des activités**, entre les occupations des sujets et le traitement funéraire.

Enfin, il serait intéressant de confronter et vérifier nos résultats de **la relation entre les indicateurs selon les contraintes mécaniques** à ceux que l'on obtiendrait sur **une population de référence** dont les occupations sont connues.

Références bibliographiques

- al-Oumaoui, I., Jimenez-Brobeil, S. et du Souich, P., 2004. Markers of activity patterns in some populations of the Iberian Peninsula. *International Journal of Osteoarchaeology*, 14: 343-59.
- Allard, P. et Blanchi, J. P., 2000. *Analyse du mouvement humain par la biomécanique*, Décarie, Anjou: 400.
- Ambert, P. et Carozza, L., 1996. Origine et développement de la première métallurgie française: état de la question. *Archéologie en Languedoc*, 20: 43-56.
- Ambert, P., Coularou, J., Cert, C., Guendon, J.-L., Bourgarit, D., Mille, B., Dainat, D., Houlas, N. et Baumes, B., 2002. Le plus vieil établissement de métallurgistes de France (III^{ème} millénaire av. J.-C.): Péret (Hérault). *Comptes Rendus Palevol*, 1: 67-74
- Andrieu-Ponel, V., Ponel, P., Jull, A., de Beaulieu, J., Bruneton, H. et Leveau, P., 2000. Towards the reconstruction of the Holocene vegetation history of Lower Provence: two new pollen profiles from Marais des Baux. *Vegetation History and Archaeobotany*, 9: 71-84.
- Arbogast, R.-M., Méniel, P., Lepetz, S., Clavel, B. et Yvinec, J.-H., 2002. *Archéologie du cheval*, Errance, Paris.
- Aubry, M., 2003. *Etude paléo-ondotologiques de populations préhistoriques et historiques de Provence : l'hypogée chalcolithique de Roaix (Vaucluse) et le cimetière médiéval de Saint-Pierre l'Almanarre*, thèse de doctorat en anthropologie biologique, Université de la Méditerranée, Marseille: 262.
- Aubry, M., Mafart, B., Donat, B. et Brau, J., 2003. Brief communication: study of noncarious cervical tooth lesions in samples of prehistoric, historic, and modern populations from the south of France. *American Journal of Physical Anthropology*, 121: 10-4.
- Auerbach, B. M. et Ruff, C. B., 2004. Human body mass estimation: a comparison of "morphometric" and "mechanical" methods. *American Journal of Physical Anthropology*, 125: 331-42.
- Auerbach, B. M. et Ruff, C. B., 2006. Limb bone bilateral asymmetry: commonality and variability among modern humans. *Journal of Human Evolution*, 50: 203-18.
- Baillif-Ducros, C., Truc, M. C., Paresys, C. et Villotte, S., 2012. Approche méthodologique pour distinguer un ensemble lésionnel fiable de la pratique cavalière. Exemple du squelette de la tombe 11 du site de «La Tuilerie» à Saint-Dizier (Haute-Marne), VI^e siècle. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 24: 25-36.

- Bailly, M., 2002. *La flèche et l'éclat. Production et consommation des outillages lithiques taillés au Néolithique final à l'âge du Bronze ancien entre Saône et Rhône (2600-2200 av. J.-C.)*, thèse de doctorat Université de Franche-Comté, Université de Franche-Comté, Besançon: 354.
- Balasse, M. et Tresset, A., 2007. Environmental constraints on the reproductive activity of domestic sheep and cattle : what latitude for the herder ? *Anthropozoologica*, 42: 71-88.
- Bar-Yosef, O., 2001. From sedentary foragers to village hierarchies: the emergence of social institutions, in *Proceedings of the British Academy*, Oxford University Press: 1-38.
- Bard, H., 2002. Pathologie périarticulaire de la hanche: Affections non traumatiques de la hanche. *La Revue du praticien*, 52: 627-31.
- Barge, H., 1989. L'habitat perché et les cabanes campaniformes des Calades (Orgon, Bouches-du-Rhône), in D'Anna, A. et Guthertz, X., *Enceintes, habitats ceinturés, sites perchés du Néolithique au Bronze ancien dans le sud de la France et les régions voisines : Actes de la table ronde de Latte et Aix-en-Provence, 15-18 avril 1987*, Société languedocienne de Préhistoire, Montpellier: 231-7.
- Beeching, A., 2002. La fin du Chasséen et le Néolithique final dans le bassin du Rhône moyen, in Ferrari, A. et Visentini, P., *Il declino del mondo neolitico. Ricerche in Italia centrosettentrionale fra aspetti peninsulari, occidentali e nord-alpini, Atti del Convegno Pordenone, 5-7 aprile 2001*, Quaderni del Museo Archeologico del Friuli occidentale Museo delle Scienze, Pordone: 67-83.
- Bello, S., 2000. *Taphonomie des restes osseux humains. Effets des processus de conservation du squelette sur les paramètres anthropologiques*, thèse de doctorat en anthropologie biologique, Università' degli studi di Firenze et Université de la Méditerranée-Aix Marseille II, Marseille: 315.
- Benjamin, M., Kumai, T., Milz, S., Boszczyk, B. M., Boszczyk, A. A. et Ralphs, J. R., 2002. The skeletal attachment of tendons - tendon 'entheses'. *Comparative Biochemistry and Physiology a-Molecular and Integrative Physiology*, 133: 931-45.
- Benjamin, M. et Ralphs, J. R., 1998. Fibrocartilage in tendons and ligaments - an adaptation to compressive load. *Journal of Anatomy*, 193: 481-94.
- Benjamini, Y. et Hochberg, Y., 1995. Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society*, 57: 289-300.
- Berger, J.-F., 1996. *Le cadre paléographique des occupations du Bassin Valdainais (Drôme) à l'Holocène*, thèse de doctorat, Université Paris I Panthéon-Sorbonne, Paris: 327.

- Bertram, J. E. A. et Swartz, S. M., 1991. The law of bone transformation: a case of crying Wolff? *Biological Reviews*, 66: 245-73.
- Beyneix, A., 2003. *Traditions Funéraires néolithiques en France Méridionale*, Collection Hesperides, Errance, Paris: 288.
- Binder, D. et Bostyn, F., 2008. Le silex et l'obsidienne : les outillages de pierre taillée, in Tarrête, J. et Le Roux, C.-T., *Le Néolithique*, Picard, Paris: 196-229.
- Binford, L., 1980. Willow smoke and dogs' dails: hunter-gatherer settlement systems and archaeological site formation. *American Antiquity*, 45: 4-20.
- Bizot, B., Michel, J. et Sauzade, G., 2004. Dépôts funéraires et sédimentation dans le dolmen de l'Ubac à Goult, in Buisson-Catil, J., Guilcher, A., Hussy, C., Olive, M. et Pagni, M., *Vaucluse préhistorique : le territoire, les hommes, les cultures et les sites*, Ministère de la Culture et de la Communication / Direction régionale des Affaires culturelles de Provence-Alpes-Côte d'Azur, Barthélémy, Le Pontet: 238-44.
- Blaise, E., 2005. L'élevage au Néolithique final dans le sud-est de la France : éléments de réflexion sur la gestion des troupeaux. *Anthropozoologica*, 40: 191-216.
- Blaise, E., 2010. *Economie animale et gestion des troupeaux au Néolithique final en Provence : approche archéozoologique et contribution des analyses isotopiques de l'émail dentaire*, British Archaeological Reports, I. S., Archeopress, Oxford: 399.
- Bloch, H., Chemama, R., Dépret, E., Gallo, A., Leconte, P., Le Ny, J.-F., Postel, J. et Reuchlin, M., 1994, *Grand dictionnaire de la psychologie*, Larousse, Paris: 1062.
- Blondiaux, J., 1994. A propos de la dame d'Hochfelden et de la pratique cavalière: discussion autour des sites fonctionnels fémoraux, in, *La femme pendant le Moyen Age et l'époque moderne. Actes des 6e journées anthropologiques, 9-11 juin 1992*, dossier de documentation archéologique 17, Valbonne: 97-109.
- Bonjour, J. P., Theintz, G., Law, F., Slosman, D. et Rizzoli, R., 1995. Le pic de masse osseuse: réalités et incertitudes. *Archives de pédiatrie*, 2: 460-8.
- Boule, E.-L., 1998. *Etude anthropologique de la position accroupie: analyse diachronique des caractères osseux associés*, thèse de doctorat en anthropologie biologique, Faculté de médecine, Université de la Méditerranée Aix-Marseille II, Marseille.
- Boule, E. et Kurzenne, J., 1999. La facette d'«accroupissement» sur le talus foetal humain : sa formation et son maintien. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 11: 371-82.

- Boule, E. L., 2001. Evolution of two human skeletal markers of the squatting position: A diachronic study from antiquity to the modern age. *American Journal of Physical Anthropology*, 115: 50-6.
- Bouville, C. P., 1980a. L'hypogée chalcolithique de Roaix apport à l'étude de la démographie en Provence. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 7: 87-9.
- Bouville, C. P., 1980b. La population préhistorique de Provence : aspect démographique du chalcolithique. *Bulletin archéologique de Provence*, 5-6: 38-44.
- Bramhall, J. P., Scarpinato, D. F. et Andrews, J. R., 1994. Injuries in throwing sports, in Renström, P., *Clinical practice of sports injury prevention and care (the encyclopaedia of sport medicine, Vol. 5)*, Blackwell Scientific Publications, Oxford: 446-9.
- Bridges, P. S., 1989. Changes in activities with the shift to agriculture in the southeastern United States. *Current Anthropology*, 30: 385-94.
- Bridges, P., Blitz, J. et Solano, M., 2000. Changes in long bone diaphyseal strength with horticultural intensification in west-central Illinois. *American Journal of Physical Anthropology*, 112: 217-38.
- Broca, P., 1868. Sur les crânes et ossements des Eyzies. *Bulletin de la Société d'Anthropologie de Paris*: 350-92, 432-46.
- Brugal, J.-P., Buisson-Catil, J. et Helmer, D., 2001. L'aven des Fourches II (Sault, Vaucluse): les derniers chevaux sauvages en Provence. *PALEO. Revue d'archéologie préhistorique*: 73-88.
- Bruzek, J., 2002. A method for visual determination of sex, using the human hip bone. *American Journal of Physical Anthropology*, 117: 157-68.
- Bruzek, J., Schmitt, A. et Murail, P., 2005. Identification biologique individuelle en paléoanthropologie. Détermination du sexe et de l'âge au décès à partir du squelette, in Dutour, O., Hublin, J. J. et Vandermeersch, B., *Objets et méthodes en Paléo-anthropologie*, Comité des Travaux Historiques et Scientifiques, Paris: 217-46.
- Butler, J., 1990. Gender trouble, feminist theory, and psychoanalytic discourse. *Feminism/postmodernism*: 324-40.
- Capasso, L., Kennedy, K. et Wilczak, C.A., 1999. *Atlas of occupational markers on human remains*, Edigrafital S.p.A, Teramo: 183.
- Carter, D. et Beaupré, G., 2001. *Skeletal Function and Form. Mechanobiology of Skeletal Development, Aging and Regeneration*, Cambridge University Press, Cambridge: 318.
- Castex, D., 1994. *Mortalité, morbidité et gestion de l'espace funéraire au cours du Haut Moyen-âge. Contribution spécifique de l'anthropologie biologique*, thèse de doctorat en

anthropologie biologique, Laboratoire d'Anthropologie des Populations du Passé UMR 5199, Université de Bordeaux 1.

- Cauliez, J., 2010. Pour réécrire la fin du Néolithique dans le sud-est de la France : bilan critique sur cent années d'études. *Gallia Préhistoire*, 52: 241-313.
- Cauliez, J., 2011. Restitution des aires culturelles au néolithique final dans le sud-est de la France. Dynamiques de formation et d'évolution des styles céramiques. *Gallia Préhistoire*, 53: 85-202.
- Cauwe, N., Dolukhanov, P., Kozłowski, J. et Van Berg, P.-L., 2007. *Le Néolithique en Europe*, Armand Colin, Paris: 381.
- Chambon, P., 1999. *Du cadavre aux ossements, la gestion des sépultures collectives dans la France néolithique*, thèse de doctorat d'Ethnologie-Anthropologie-Préhistoire, Université de Paris 1.
- Chambon, P., 2003. Les morts dans les sépultures collectives néolithiques de la France. Du cadavre aux restes ultimes. *Suppléments à Gallia Préhistoire*, 35: 400.
- Chambon, P., 2008. les rangements dans les sépultures collectives néolithiques : une utopie archéologique ?, in Brochier, J.-E., Guilcher, A. et Pagni, M., *Archéologie de Provence et d'ailleurs. Mélanges offerts à G. Congès et G. Sauzade*, Suppl. n° 5 au Bulletin archéologique de la Provence, Aix en Provence: 87-94.
- Chambon, P. et Leclerc, J., 2008. Les pratiques funéraires, in Tarrête, J. et Roux, C., *Archéologie de la France. Le Néolithique*, Picard, Paris.
- Charles, 1893-1894. The influence of function as exemplified in the morphology of the lower extremity of the Panjabi. *Journal of Anatomy and Physiology*, 28: 1-18.
- Churchill, S. et Morris, A., 1998. Muscle marking morphology and labor intensity in prehistoric Khoisan foragers. *International Journal of Osteoarchaeology*, 8: 390-411.
- Civetta, A., 2010. *Les populations du Néolithique moyen autour du Bassin lémanique: une approche anthropométrique*, thèse de doctorat, Faculté de médecine, Université d'Aix Marseille 2, Marseille: 272.
- Claudepierre, P. et Voisin, M., 2005. Les enthèses : histologie, anatomie pathologique et physiopathologie. *Revue du Rhumatisme*, 72: 34-41.
- Commandré, F., 1977. *Pathologie abarticulaire*, Cétrane, Maurecourt: 264.
- Coon, C., 1939. *The races of Europe*. Mac Millan Co, New York: 739.
- Coudreuse, J. M. et Parier, J., 2003. Pathologies du lancer: l'épaule et le coude. *Médecins du Sport*, 13: 15-27.

- Courtin, J., 1966. *Rapport de fouille de l'hypogée chalcolithique des Crottes, commune de Roaix, Vaucluse*, Direction des antiquités préhistoriques de Provence, Marseille: 8.
- Courtin, J., 1974. *Le Néolithique de la Provence*, Société Préhistorique Française, Paris: 360.
- Courtin, J., 1976. Les civilisations néolithiques en Provence, in Guilaine, J., *Les civilisations néolithiques et protohistoriques de la France, La Préhistoire Française*, CNRS, Paris: 255-66.
- Courtin, J., 1978. Les animaux domestiques du Néolithique provençal: la faune sauvage et les débuts de l'élevage dans le Sud-Est de la France. *Bulletin du Musée d'Histoire naturelle de Marseille*, 38: 187-94.
- Courtin, J., 1984. La guerre au Néolithique. *La Recherche*, 154: 448-58.
- Courtin, J., Sauzade, G. et Bourhis, J.-R., 1975. Un poignard de type Remedello en Provence. *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 72: 184-90.
- Cowgill, L. W., 2010. The ontogeny of Holocene and Late Pleistocene human postcranial strength. *American Journal of Physical Anthropology*, 141: 16-37.
- Crubézy, E., 1988. *Interactions entre facteurs bio-culturels et caractères discrets, Exemple d'une population médiévale : Canac(Aveyron)*, thèse de doctorat de Médecine, Université de Montpellier: 417.
- Crubézy, E., Causse, L., Delmas, J. et Ludes, B., 1998. *Le paysan médiéval en Rouergue. Cimetière et église de Canac (Campagnac, Aveyron)*, Musée archéologique de Montrozier: guide d'archéologie.
- Crubézy, E., Goulet, J., Bruzek, J., Jelinek, J., Rougé, D. et Ludes, B., 2002. Épidémiologie de l'arthrose et des enthésopathies dans une population européenne d'il y a 7 700 ans. *Revue du Rhumatisme*, 69: 1217-25.
- Cunha, E. et Umbelino, C., 1995. What can bones tell about labour and occupation: the analysis of skeletal markers of occupational stress in the Identified Skeletal Collection of the Anthropological Museum of the University of Coimbra (preliminary results). *Antropologia Portuguesa*, 13: 49-68.
- Cupere, d. B. et Duru, R., 2009. Faunal remains from Neolithic Höyücek (SW-Turkey) and the presence of early domestic cattle in Anatolia. *Paléorient*, 29: 107-20.
- D'Anna, A., 1990. L'habitat de plein air au Néolithique final et chalcolithique en Provence. *Bulletin de l'Ecole Antique de Nîmes*, 22: 31-42.
- D'Anna, A., 1995a. La fin du Néolithique dans le sud-est de la France, in Chenorkian, R., *L'Homme méditerranéen*, Université de Provence, Aix-en-Provence: 299-334.

- D'Anna, A., 1995b. Le Néolithique final en Provence, in Voruz, J.-L., *Chronologies néolithiques. De 6000 à 2000 avant notre ère dans le bassin rhodanien*, Documents du Département d'Anthropologie et d'Ecologie de l'Université de Genève, Société préhistorique rhodanienne, Ambérieu-en-Bugey: 265-86.
- D'Anna, A., 1999. Le Néolithique final en Provence, in, *Le Néolithique du Nord-ouest méditerranéen, congrès préhistorique de France. Compte Rendu de la 24ème session, Carcassonne 1994*, Société Préhistorique Française, Paris: 147-59.
- D'Anna, A. et Renault, S., 2004. *Stèles anthropomorphes néolithiques de Provence, catalogue du Musée Calvet d'Avignon*, Etablissement public Calvet, Avignon: 96.
- Davies, T., Shaw, C. et Stock, J., 2012. A test of a new method and software for the rapid estimation of cross-sectional geometric properties of long bone diaphyses from 3D laser surface scans. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 4: 277-90.
- Debono, L., 2006. *Evolution diachronique (anthropologique et paléopathologique) du squelette post-cranien des adultes d'une population historique du sud-est de la France (nécropole Notre-Dame-du-Bourg, Digne, 4e-17è siècle après J.-C.)*, thèse de doctorat, Laboratoire d'Anthropologie Anatomique et de Paléopathologie, Université Claude Bernard-Lyon 1, Lyon: 382.
- Delphy, C., 2001. *L'ennemi principal: penser le Genre*, Nouvelles Questions Féministes, Editions Syllepse, Paris: 380.
- Devriendt, W., 2004a. *L'hypogée des Boileau*, thèse de doctorat en anthropologie biologique, Faculté de médecine, Université de la Méditerranée-Aix Marseille II, Marseille: 317.
- Devriendt, W., 2004b. Les hypogées Vauclusiens : vers une meilleure connaissance des populations du néolithique final, in Buisson-Catil, J., Guilcher, A., Hussy, C., Olive, M. et Pagni, M., *Vaucluse préhistorique : le territoire, les hommes, les cultures et les sites*, Barthélémy, Le Pontet.: 245-7.
- Devriendt, W., Mahieu, E., Barge, H., Lalys, L., Adalian, P., Ardagna, Y. et Signoli, M., 2001. L'hypogée des Boileau (Vaucluse-France) : approche paléodémographique d'une population du Néolithique final, in Ardagna, Y., Boetsch, G., Dutour, O., Lalys, L. et Signoli, M., *Actes du XXVe colloque du GALF : l'homme et ses images, mesures, représentations, constructions*, Marseille: 345-54.
- Dewey, K., 1980. The impact of agricultural development on child nutrition in Tabasco, Mexico. *Medical Anthropology*, 4: 21-55.
- Du Gardin, C., 1998. Le Campaniforme et l'ambre, mythe ou réalité ? *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 98: 343-50.

- Dutour, O., 1986. Enthesopathies (lesions of muscular insertions) as indicators of the activities of Neolithic Saharan populations. *American Journal of Physical Anthropology*, 71: 221-4.
- Dutour, O., 1989. *Hommes fossiles du Sahara - Peuplements holocènes du Mali septentrional*, CNRS éditions, Paris: 342.
- Dutour, O., 1992. Activités physiques et squelette humain : le difficile passage de l'actuel au fossile. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 4: 233-41.
- Dutour, O., 2000. Chasse et activités physiques dans la Préhistoire: les marqueurs osseux d'activités chez l'homme fossile. *Anthropologie et Préhistoire*, 111: 156-65.
- Erickson, J. D., Lee, D. V. et Bertram, J. E. A., 2000. Fourier analysis of acetabular shape in Native American Arikara populations before and after acquisition of horses. *American Journal of Physical Anthropology*, 113: 473-80.
- Escalon de Fonton, M., 1956. Préhistoire de la Basse-Provence, in, *Préhistoire*, Presse Universitaire Française, Paris: 162.
- Escalon de Fonton, M., 1963. Origine et développement des civilisations néolithiques méditerranéennes en Europe occidentale. *Cahiers Ligures de Préhistoire et d'Archéologie*, 17: 208-11.
- Eshed, V., Gopher, A., Galili, E. et Hershkovitz, I., 2004. Musculoskeletal stress markers in Natufian hunter-gatherers and Neolithic farmers in the levant: The upper limb. *American Journal of Physical Anthropology*, 123: 303-15.
- Fajardo, R. J., Ryan, T. M. et Kappelman, J., 2002. Assessing the accuracy of high-resolution X-ray computed tomography of primate trabecular bone by comparisons with histological sections. *American Journal of Physical Anthropology*, 118: 1-10.
- Fossurier, C., 2011. *Anthropologie et archéologie des sites funéraires carolingiens dans le nord-ouest de la France-Une approche des populations VIIIe-Xe siècles*, thèse de doctorat, Centre d'Etudes supérieures de Civilisations médiévales: 365
- Fruyer, D. W., 1981. Body size, weapon use, and natural selection in the European Upper Paleolithic and Mesolithic. *American Anthropologist*, 83: 57-73.
- Frelat, M., 2007. *Variabilité des proportions corporelles humaines. Approches ontogénique et phylogénique* thèse de doctorat en paléanthropologie, Département de Préhistoire, Muséum national d'Histoire naturelle, Paris.
- Furestier, R., 2007. *Les industries lithiques campaniformes du sud-est de la France*, British Archaeological Reports, I. S., 1684, Archeopress, Oxford.

- Galera, V. et Garralda, M. D., 1993. Enthesopathies in a Spanish medieval population: anthropological, epidemiological, and ethnohistorical aspects. *International Journal of Anthropology*, 8: 247-58.
- Gilibert, C., Durrenmath, G. et Margarit, X., 2004. L'architecture domestique au Néolithique final en Provence: l'apport des sites couronniers du Collet-Redon et de Ponteau-Gare à Martigues (Bouches-du-Rhône), in Dartevelle, H., *Actes des Cinquièmes Rencontres Méridionales de Préhistoire Récente, Clermont-Ferrand, 8-9 novembre 2002*, Supplément à Préhistoire du Sud-Ouest, Cressensac: 467-74.
- Giligny, F., 1997. La céramique de Chalain 3, in Pétrequin, P., *Les Sites littoraux néolithiques de Clairvaux-les-Lacs et de Chalain (Jura) -3- Chalain station 3, 3200- 2900 av. J.-C.*, Editions de la MSH, Paris: 327-70.
- Godelier, M., 1973. Modes de production, rapports de parenté et structures démographiques. *La Pensée*, 172: 7-31.
- Godelier, M., 1991. *Transitions et subordinations au capitalisme*, Les Editions de la MSH, Paris: 428.
- Godfrey, K., Walker-Bone, K., Robinson, S., Taylor, P., Shore, S., Wheeler, T. et Cooper, C., 2001. Neonatal bone mass: influence of parental birthweight, maternal smoking, body composition, and activity during pregnancy. *Journal of Bone and Mineral Research*, 16: 1694-703.
- Gosman, J., Stout, S. et Larsen, C., 2011. Skeletal biology over the life span: a view from the surfaces. *American Journal of Physical Anthropology*, 146: 86-98.
- Gould, S. J., 1997. *La mal-mesure de l'homme*, Odile Jacob, Paris.
- Gutherz, X., 2008. L'habitat en France du Sud, in Tarrête, J. et Le Roux, C.-T., *Le Néolithique, Archéologie de la France*, Picard, Paris: 154-78.
- Haddon, A.C., 1927. *Les races humaines et leur répartition géographique*. Paris:327 pp.
- Harfouche, R. et Poupet, P., 2000. L'espace agricole de la préhistoire récente en moyenne Vistrenque (Nîmes, Gard), in Leduc, M., Valdeyron, N. et Vaquer, J., *Sociétés et espaces, Actes des rencontres Méridionales de Préhistoire Récente, Troisième session, 6-7 novembre 1998*, Archives d'Ecologie Préhistorique, Toulouse: 135-46
- Hasler, A., Collet, H., Durand, D., Chevillot, P., Renault, S. et Richier, A., 2002. Ventabren Château Blanc. Une nécropole tumulaire néolithique, in *Archéologie du TGV Méditerranée, Fiches de Synthèse. Tome 1 : La Préhistoire*, Publications de l'UMR 154 du CNRS, Monographies d'Archéologie méditerranéenne, 8, Lattes: 227-38.

- Hawkey, D. E., 1988. *Use of upper extremity enthesopathies to indicate habitual activity patterns*, MA thesis, Department of Anthropology, Arizona State University, Tempe.
- Hawkey, D. E. et Merbs, C. F., 1995. Activity-induced musculoskeletal stress markers (MSM) and subsistence strategy changes among ancient Hudson Bay Eskimos. *International Journal of Osteoarchaeology*, 5: 324-38.
- Hedayati, B. et Saifuddin, A., 2009. Focal lesions of the patella. *Skeletal Radiology*, 38: 741-9.
- Hernot, J., 2011. *La sépulture collective de l'hypogée de Roaix (Néolithique final) : contribution à l'étude des ossements humains brûlés de la « couche 2 »*, mémoire de master en anthropologie biologie, Faculté de médecine, Université Aix-Marseille, Marseille: 63.
- Hiernaux, J., 1968. Variabilité du dimorphisme sexuel de la stature en Afrique subsaharienne et en Europe, in Fisher, G., *Anthropologie und Humangenetik*, Verlag, Stuttgart: 42-50.
- Holland, T. D., 1992. Estimation of adult stature from fragmentary tibias. *Journal of Forensic Sciences*, 37: 1223-9.
- Holt, B., 2003. Mobility in Upper Paleolithic and Mesolithic Europe: evidence from the lower limb. *American Journal of Physical Anthropology*, 122: 200–15.
- Holt, B. et Formicola, V., 2008. Hunters of the Ice Age: the biology of Upper Palaeolithic people. *Yearbook of Physical Anthropology*, 51: 70-99.
- Honegger, M., 2006. Flèches simples et flèches complexes dans le Néolithique du nord des Alpes, in Astruc, L., Bon, F., Lea, V., Milcent, P.-Y. et Philibert, S., *Normes techniques et pratiques sociales. De la simplicité des outillages pré et protohistoriques. XXVIèmes rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes*, APDCA, Antibes: 255-66.
- Ibáñez-Gimeno, P., Esteban-Trivigno, S., Jordana, X., Manyosa, J., Malgosa, A. et Galtés, I., 2013. Functional plasticity of the human humerus. *American Journal of Physical Anthropology*, 150: 609–17.
- Jacobs, K., 1992. Estimating femur and tibia length from fragmentary bones - an evaluation of steele (1970) method using a prehistoric european sample. *American Journal of Physical Anthropology*, 89: 333-45.
- Jallot, L., 2003. Les Vautes dans le contexte régional du Néolithique final chalcolithique : le groupe de Ferrières dans l'Hérault et la question du "style des Vautes" in Guilaine, J. et Escallon, G., *Les Vautes (Saint-Gély-du-Fesc, Hérault) et la fin du Néolithique en Languedoc oriental*, EHESS/Inrap, Toulouse: 235-74.
- Jallot, L. et D'Anna, A., 1990. Stèles anthropomorphes et statues-menhirs : état de la question et approches méthodologiques nouvelles, in Guilaine, J. et Gutherz, X., *Autour de Jean*

- Arnal. *Recherches sur les premières communautés paysannes en Méditerranée occidentale*, Laboratoire de paléobotanique, Montpellier: 359-83.
- Jit, I. et Kaur, H., 1986. Rhomboid foss in the clavicles of North Indians. *American Journal of Physical Anthropology*, 70: 97-103.
- Kennedy, K., 1989. Skeletal markers of occupational stress, in Iscan, M. Y. et Kennedy, K. A. R., *Reconstruction of life from the skeleton*, Liss, New York: 130-60.
- Kennedy, K., 2000. Assessment of occupational stress, in Siegel, J.A., Knupfer, G.C., Saukko, P.J., *Encyclopaedia of Forensic Sciences*, Academic Press, London: 212-7.
- Kennedy, K. A. R., 1998. Markers of occupational stress: conspectus and prognosis of research. *International Journal of Osteoarchaeology*, 8: 305-10.
- Khedhaier, R., Verdin, P., Furestier, R., Lemercier, O. et Müller, A., 2003. Dépiquage au tribulum au Néolithique Final dans le Sud-Est de la France. Le cas du site de Forcalquier-La Fare (Alpes de Haute-Provence). Indices convergents de la tracéologie et de l'analyse des phytolithes., in Anderson, P., *Le traitement des récoltes: un regard sur la diversité du Néolithique au Présent. Actes des XXIII^e rencontres internationales d'histoire et d'archéologie d'Antibes, 17-19 oct. 2002*, APDCA, Antibes: 477-92.
- Khosla, S., Riggs, B. L., Atkinson, E. J., Oberg, A. L., McDaniel, L. J., Holets, M., Peterson, J. M. et Melton, L. J., 2006. Effects of sex and age on bone microstructure at the ultradistal radius: a population based noninvasive in vivo assessment. *Journal of Bone and Mineral Research*, 21: 124-31.
- Kikuchi, Y., Takemoto, H. et Kuraoka, A., 2012. Relationship between humeral geometry and shoulder muscle power among suspensory, knuckle-walking, and digitigrade/palmigrade quadrupedal primates. *Journal of Anatomy*, 220: 29-41.
- Knüsel, C., 2000. Bone adaptation and its relationship to physical activity in the past, in Cox, M. et Mays, S., *Human Osteology in Archeology and Forensic Science.*, GMM, London: 381-401.
- Knüsel, C., Göggel, S. et Lucy, D., 1997. Comparative degenerative joint disease of the vertebral column in the medieval monastic cemetery of the Gilbertine Priory of St. Andrew, Fishergate, York, England. *American Journal of Physical Anthropology*, 103: 481-95.
- Kostick, E. L., 1963. Facets and imprints on the upper and lower extremities of femoral from a western Nigerian population. *Journal of Anatomy*, 97: 393-402.
- Lanyon, L., 1992. Control of bone architecture by functional load bearing. *Journal of Bone and Mineral Research*, 7: 369-75.

- Lanyon, L. E. et Rubin, C., 1984. Static vs. dynamic loads as an influence on bone remodeling. *Journal of Biomechanics*, 7: 897–905.
- Lapostolle, J. C., 2004. Elbow pathologies in archery, in Ergen, E. et Hibner, K., *Sports Medicine and Science in Archery (FITA)*, FITA, Medical Comittee, Lausanne: 70-81.
- Larsen, C. S., 1995. Biological changes in human populations with agriculture. *Annual Review of Anthropology*: 185-213.
- Larsen, C. S., 1997. *Bioarchaelology. Interpreting behavior from the human skeleton*, Cambridge University Press, Cambridge 461.
- Leclerc, J., 1997. Analyse spatiale des sites funéraires néolithiques, in, *Espaces physiques, espaces sociaux dans l'analyse interne des sites du Néolithique à l'Age du Fer :actes du colloque d'Amiens, 119e Congrès du CTHS, 26-30 oct. 1994*, CTHS, Paris: 397-405.
- Leclerc, J., 1999. Un phénomène associé au mégalithisme : les sépultures collectives, in Guilaine, J., *Mégalithisme, de l'Atlantique à l'Ethiopie*: 23-40.
- Lee, R. B. et DeVore, I., 1968. *Man the hunter*, Aldine, Piscataway, NJ: 415.
- Lemercier, O., 2003. La transition du Néolithique moyen au Néolithique final aux origines du Couronnien : approche collective des séries du "Néolithique récent", in Lemercier, O., *Le couronnien en Basse-Provence occidentale: état des connaissances et nouvelles perspectives de recherches*, ESEP/SRA PACA, Aix en Provence: 76-7.
- Lemercier, O., 2010. La transition du Néolithique moyen au Néolithique final dans le sud-est de la France : recherches, données et scénarii, in Lemercier, O., Furestier, R. et Blaise, E., *4è millénaire. La transition du Néolithique Moyen au Néolithique Final dans le sud-est de la France et les régions voisines*, Publications de l'UMR 5140 "Archéologie des Sociétés Méditerranéennes", Latets: 305-21.
- Lemercier, O., Convertini, F., D'Anna, A., Durrenmath, G., Gilabert, C., Lazard, N., Margarit, X., Provenzano, N., Pelissier, M. et Renault, S., 2003. Le Couronnien en Basse-Provence occidentale. Etat des connaissances et nouvelles perspectives de recherches. Objectifs et premiers résultats d'un Projet Collectif de Recherche, 1998-2000, in Gascó, J., Guthertz, X. et de Labriffe, P.-A., *Temps et Espaces culturels, Rencontres Méridionales de Préhistoire Récente, IVe session, Nîmes, 28-29 octobre 2000*, ADAL, Lattes: 447-51.
- Lemercier, O., Blaise, E., Cauliez, J., Furestier, R., Gilabert, C., Lazard, N., Pinet, L. et Provenzano, N., 2004a. La fin des temps néolithiques, in Buisson-Catil, J., Guilcher, A., Hussy, C., Olive, M. et Pagni, M., *Vaucluse préhistorique : le territoire, les hommes, les cultures et les sites*, Ministère de la Culture et de la Communication / Direction régionale des Affaires culturelles de Provence-Alpes-Côte d'Azur, Barthélémy, Le Pontet: 203-52.

- Lemercier, O., Furestier, R., Müller, A., Cauliez, J., Convertini, F., Lazard, N., Provenzano, N., avec la collaboration de, Bouville, C. P., Gilabert, C., Jorda, M., Khedhaier, R., Loirat, D., Pellissier, M. et Verdin, P., 2004b. Le site néolithique de La Fare (Forcalquier, Alpes-de-Haute-Provence) : résultats 1995-1999 et révision chronoculturelle, in Dartevelle, H., *Auvergne et Midi - Actualité de la recherche : actes de la cinquième session, Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme), 8 et 9 novembre 2002*, Rencontres méridionales de Préhistoire récente/ Préhistoire du Sud-Ouest Supplément, Cressensac: 445-55.
- Lemercier, O., Blaise, E., Cauliez, J., Convertini, F., D'Anna, A., Delaunay, G., Durrenmath, G., Furestier, R., Gilabert, C., Lazard, N., Margarit, X., Pellissier, M., Provenzano, N., Renault, S., 2007. Le Néolithique final couronnien en Basse-Provence occidentale, de Max Escalon de Fonton au projet collectif de recherche de l'UMR 6636 (1947-2004), in : Evin, J., *Un siècle de construction du discours scientifique en Préhistoire, Actes du XXVIe Congrès Préhistorique de France, Avignon, 21-25 septembre 2004*, Société Préhistorique Française, Paris: 473-83.
- Lemercier, O. et Müller, A., 1999. Le site néolithique final/chalcolithique de La Fare (Forcalquier, Alpes-de-Haute-Provence) Premiers résultats 1991-1993, in Beeching, A. et Vital, J., *Préhistoire de l'Espace habité en France du sud, Actes des Premières Rencontres Méridionales de Préhistoire Récente, juin 1994*, Travaux du CAP, Valence: 177-83.
- Lemercier, O. et Gilabert, C., 2009. Approche chronoculturelle de l'habitat de la fin du Néolithique en Provence, in Beeching, A. et Senepart, I., *De la maison au village dans le Néolithique de sud de la France et du Nord-Ouest méditerranéen : séance de la Société préhistorique française, 23 et 24 mai 2003*, Société Préhistorique Française, Marseille.
- Leuzinger, U., 2000. Die jungsteinzeitliche seeufersiedlung Arbon-Bleiche 3. Befunde, in, *Archäologie im Thurgau*, Department für Erziehung und Kultur Kantons Thurgau, Frauenfeld: 187.
- Lévi-Strauss, C., 1956. La Famille, in Shapiro, H., *Man, culture and society*, Oxford University Press, New York.
- Liang, K. Y. et Zeger, S. L., 1986. Longitudinal data analysis using generalized linear models. *Biometrika*, 73: 13-22.
- Lieberman, D., Devlin, M. et Pearson, O., 2001. Articular area responses to mechanical loading: effects of exercise, age, and skeletal location. *American Journal of Physical Anthropology*, 116: 266-77.

- Lieberman, D. E., Polk, J. D. et Demes, B., 2004. Predicting long bone loading from cross-sectional geometry. *American Journal of Physical Anthropology*, 123: 156-71.
- Lignereux, Y., Vaquer, J. et Collonge, J., 2006. Traction animale et lésions osseuses. Quelques cas dans le Néolithique final languedocien (France), in Pétrequin P, Arbogast, R.-M., Pétrequin, A.-M., Van Willigen, S. et Bailly, M., *Premiers chariots, premiers araires. La diffusion de la traction animale en Europe pendant les IV^e et III^e millénaires avant notre ère*, CNRS éditions, Paris: 31-7.
- Lipsitz, S. R., Kim, K. et Zhao, L. P., 1994. Analysis of repeated categorical data using generalized estimating equations. *Statistics in Medicine*, 13: 1149-63.
- Louwe Kooijmans, L. P., 2006. Les débuts de la traction animale aux Pays-Bas et ses conséquences, in Pétrequin, P., Arbogast, R.-M., Pétrequin, A.-M., Van Willigen, S. et Bailly, M., *Premier chariots, premiers araires. La diffusion de la traction animale en Europe pendant les IV^e et III^e millénaires avant notre ère*, CNRS éditions, Paris: 191-206.
- Lovejoy, C. O., Burstein, A. H. et Heiple, K. G., 1976. The biomechanical analysis of bone strength: a method and its application to platycnemia. *American Journal of Physical Anthropology*, 44: 489-505.
- Lovejoy, C. O., Cohn, M. J. et White, T. D., 2003. Morphological analysis of the mammalian postcranium: A developmental perspective. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96: 13247-52.
- Lovejoy, C. O., Heiple, K. G. et Burstein, A. H., 1973. The gait of *Australopithecus*. *American Journal of Physical Anthropology*, 38: 757-80.
- Mafart, B., 1989. Intérêt et limites de l'étude de quelques marqueurs osseux de la malnutrition au cours de la croissance. *Dossier de Documentation Archéologique*, 13: 73-84.
- Maggiano, I. S., Schultz, M., Kierdorf, H., Sosa, T. S., Maggiano, C. M. et Tiesler Blos, V., 2008. Cross-sectional analysis of long bones, occupational activities and long distance trade of the Classic Maya from Xcambo: Archaeological and osteological evidence. *American Journal of Physical Anthropology*, 136: 470-7.
- Magny, M., 2004. Holocene climate variability as reflected by mid-European lake-level fluctuations and its probable impact on prehistoric human settlements. *Quaternary International*, 113: 65-79.
- Magny, M., Miramont, C. et Sivan, O., 2002. Assessment of the impact of climate and anthropogenic factors on Holocene Mediterranean vegetation in Europe on the basis of

- palaeohydrological records. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*: 47-59.
- Mahieu, E., 1984a. *Etude anthropologique d'un hypogée vauclusien chalcolithique*, thèse de doctorat, Université de Reims-Champagne-Ardenne: 421.
- Mahieu, E., 1984b. Les fusions tarsiennes : un exemple d'un pont calcanéen à l'hypogée du Capitaine (Grillon, 84). *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris (série XIV)*, 1: 289-96.
- Mahieu, E., 1985. Foetus et nouveau-nés préhistoriques : études et problèmes d'interprétation. *Bulletin du Musée d'Anthropologie préhistorique de Monaco*, 28: 137-54.
- Mahieu, E., 1986a. L'hypogée des Boileau, in Duport, L., *L'homme préhistorique et la mort : [exposition internationale, Château de la Rochefoucauld, Charente]*, Dépôt de fouilles départemental de la Charente, La Rochefoucauld: 72-3.
- Mahieu, E., 1986b. Utilisation de l'informatique pour le traitement des données de fouille. *Bulletin du Musée d'Anthropologie préhistorique de Monaco*, 29: 81-97.
- Mahieu, E., 1987. L'Hypogée des Boileau (Vaucluse) : vers une meilleure connaissance des rites funéraires du Néolithique provençal. *Bulletin de la Société préhistorique française*, 84: 5-7.
- Mahieu, E., 1989a. *L'Hypogée des Boileau, Sarrians (Vaucluse)*, Etudes et prospectives archéologiques, E.P.A., Marseille: 20.
- Mahieu, E., 1989b. Premiers apports de l'hypogée des Boileau à l'étude des sépultures collectives du Sud-Est de la France, in, *Anthropologie préhistorique: résultats et tendances*, Actes du colloque de Sarrians: 75-81.
- Mahieu, E., 2000. L'hypogée des Boileau (Vaucluse, France). Organisation, fonctionnement, comparaisons, in Melis, M. G., *L'ipogeismo nel Mediterraneo : origini, sviluppo, quadri culturali*, Università degli Studi - Facoltà di Lettere e Filosofia, Sassari: 591-606.
- Mahieu, E., Devriendt, W., Barge, H., Lalys, L., Adalian, P., Ardagna, Y. et Signoli, M., 2004. L'hypogée des Boileau (Vaucluse, France): étude fonctionnelle et anthropologique, in Cauwe, N., Vander Linde, M., Tunca, O. et Lebeau, M., *Section 10 - L'âge du Cuivre au Proche Orient et en Europe*, British archaeological Reports - International Series ; 1303 / Actes du 14ème Congrès de l'Union internationale des sciences préhistoriques et protohistoriques, Liège 2001, Archaeopress, Oxford: 375-84.
- Mahieu, E. et Mahieu, J.-Y., 1991. Un exemple d'utilisation de l'informatique en archéologie. *Cahiers Ligures de Préhistoire et d'Archéologie*, 3: 71-91.

- Mahieu, E. et Marchesi, H., 1986. Alimentation et usure dentaire : première approche d'une population chalcolithique. *Travaux du LAPMO 1985*: 11.
- Maillet, N., Richard, G., Genty, P. et Delcourt-Vlaeminck, M., 2000. La diffusion des silex du Grand-Pressigny au Néolithique final : état actuel de l'inventaire *Bulletin des amis du musée de Préhistoire du Grand-Pressigny*, 51: 27-30.
- Mann, D. L., 1994. Injuries in archery, in Renström, P., *Clinical Practice of sport injuries prevention and care (the encyclopedia of sport medicine, volume 5)*, Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Mann, D. L. et Littke, N., 1989. Shoulder injuries in archery. *Canadian Journal of Sport Sciences*, 14: 85-92.
- Manouvrier, L., 1888. *Mémoire sur la platycnémie chez l'Homme et les Anthropoïdes*, mémoire de la Société d'Anthropologie de Paris.
- Marchi, D., 2008. Relationships between lower limb cross-sectional geometry and mobility: The case of a Neolithic sample from Italy. *American Journal of Physical Anthropology*, 137: 188-200.
- Marchi, D. et Shaw, C. N., 2011. Variation in fibular robusticity reflects variation in mobility patterns. *Journal of Human Evolution*, 61: 609-16.
- Marchi, D., Sparacello, V. S., Holt, B. M. et Formicola, V., 2006. Biomechanical approach to the reconstruction of activity patterns in Neolithic Western Liguria, Italy. *American Journal of Physical Anthropology*, 131: 447-55.
- Margarit, X., 2010. Réflexions sur les caractères de la céramique du Néolithique récent méridional à travers la comparaison de deux sites rhodaniens, les Ribauds et le Duc (Mondragon, Vaucluse), in Lemerrier, O., Furestier, R. et Bailly, M., *Quatrième millénaire. La transition du Néolithique moyen au Néolithique final dans le sud-est de la France et les régions voisines*, Monographies d'Archéologie Méditerranéenne, Publications de l'UMR 5140 / ADAL, Lattes.
- Marieb, E. N., 2005. Anatomie et physiologie humaine. *Editions De Boeck Université*.
- Mariotti, V., Facchini, F. et Belcastro, M. G., 2004. Enthesopathies-proposal of a standardized scoring method and applications. *Collegium antropologicum*, 28: 145-59.
- Martel, M., 2012. *Etude des marqueurs d'activités et de postures sur une série de l'Antiquité tardive/haut-moyen âge du site de la Baisse Sainte-Anne de Valensole (04)*, mémoire de master, faculté de médecine, Université d'Aix-Marseille, Marseille: 98.
- Martin, B., Burr, D. et Sharkey, N., 1998. *Skeletal tissue mechanics*, Springer, Dordrecht: 406.
- Martin, R. et Saller, K., 1959. *Lehrbuch der anthropologie*, Fisher Verlag, Stuttgart

- Martin , R. B., 2000. Toward a unifying theory of bone remodelling. *Bone*, 26: 1-6.
- Martin, S., 2004. *Caractérisation de l'anthropisation à l'Holocène en Provence et en Languedoc oriental par les mollusques terrestres*, thèse de doctorat, Université Paris I Panthéon Sorbonne, Paris: 428.
- Mashkour, M., 2001. *Chasse et élevage du Néolithique à l'Age du Fer dans la plaine de Qazvin (Iran), Etude archéozoologique des sites de Zagheh, Qabrestan et Sagzabad*, thèse de doctorat, Université de Paris I Panthéon-Sorbonne, Paris: 738.
- Mays, S., Steele, J. et Ford, M., 1999. Directional asymmetry in the human clavicle. *International Journal of Osteoarchaeology*, 9: 18-28.
- McManus, I. C., 2002. *Left hand, right hand*, Weidenfeld and Nicolson, London.
- Michel, J., 2002. *Etude anthropologique des immatures du dolmen de l'Ubac (Goult, Vaucluse)*, mémoire de DEA, Faculté de médecine, Université de la Méditerranée (Aix Marseille II), Marseille.
- Miller, E., 1992. *The effects of horseback riding on the human skeleton*, Meeting of the Palaeopathology Association, Las Vegas, Nevada.
- Mockers, O., Aubry, M. et Mafart, B., 2004. Dental crowding in a prehistoric population. *European Orthodontic Society*, 26: 151-6.
- Molleson, T., 1989. Seed preparation in the Mesolithic: the osteological evidence. *Antiquity*, 63: 356-62.
- Molnar, P., 2006. Tracing prehistoric activities: Musculoskeletal stress marker analysis of a Stone-Age population on the island of Gotland in the Baltic Sea. *American Journal of Physical Anthropology*, 129: 12-23.
- Morin, A. et Picavet, R., 2006. Archéologie et pastoralisme d'altitude (Vercors, Dévoluy, haute vallée du Buëch), in *Aux origines de la transhumance : les Alpes et la vie pastorale d'hier à aujourd'hui*, Picard, Paris: 187-203.
- Murail, P., Bruzek, J., Houët, F. et Cunha, E., 2005. DSP : un outil de diagnose sexuelle probabiliste à partir des données métriques de l'os coxal. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 17: 167-76.
- Murdock, G. P. et Provost, C., 1973. Factors in the division of labor by sex: A cross-cultural analysis. *Ethnology*, 12: 203-25.
- Niinimäki, S., 2012. The Relationship Between Musculoskeletal Stress Markers and Biomechanical Properties of the Humeral Diaphysis. *American Journal of Physical Anthropology*, 147: 618-28.

- Nikita, E., Ysi Siew, Y., Stock, J., Mattingly, D. et Mirazón Lahr, M., 2011. Activity patterns in the Sahara Desert: An interpretation based on cross-sectional geometric properties. *American Journal of Physical Anthropology*, 146: 423–34.
- O'Neill, M. C. et Ruff, C. B., 2004. Estimating human long bone cross-sectional geometric properties: a comparison of noninvasive methods. *Journal of Human Evolution*, 47: 221-35.
- Olivier, G., 1951. Anthropologie de la clavicule, 3: la clavicule du Français. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 2: 121-57
- Olivier, G., 1960. *Pratique anthropologique*, Vigot Frères, Paris.
- Ollivier, V., 2006. *Continuités, instabilités et ruptures morphogéniques en Provence depuis la dernière glaciation. Travertinisation, détritisme et incisions sur le piémont sud du Grand Luberon (Vaucluse, France). Relations avec les changements climatiques et l'anthropisation*, thèse de doctorat, Université de Provence Aix Marseille I, Aix en Provence: 357.
- Ouellette, H., Bredella, M., Labis, J., Palmer, W. E. et Torriani, M., 2008. MR imaging of the elbow in baseball pitchers. *Skeletal radiology*, 37: 115-21.
- Pálfi, G., 1992. Traces des activités sur les squelettes des anciens Hongrois. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 4: 209-31
- Panter-Brick, C., 2002. Sexual division of labor: Energetic and evolutionary scenarios. *American Journal of Human Biology*, 14: 627–40.
- Pearson, O. M. et Lieberman, D. E., 2004. The aging of Wolff's "law": Ontogeny and responses to mechanical loading in cortical bone. *Yearbook of Physical Anthropology*, 47: 63-99.
- Perréard Lopreno, G., 2007. *Adaptation structurelle des os du membre supérieur et de la clavicule à l'activité : analyse de l'asymétrie des propriétés géométriques de sections transverses et de mesures linéaires dans une population identifiée (collection Simon)*, thèse de doctorat, Faculté des sciences, Université de Genève, Genève: 356.
- Peterson, J., 1998. The Natufian hunting conundrum: spears, atlatls, or bows? Musculoskeletal and armature evidence. *International Journal of Osteoarchaeology*, 8: 378-89.
- Pétrequin, P., Arbogast, R.-M., Pétrequin, A.-M., Van Willigen, S. et Bailly, M., 2006a. *Premiers chariots, premiers araires. La diffusion de la traction animale en Europe pendant les IVe et IIIe millénaires avant notre ère*, CNRS éditions, Paris: 397.
- Pétrequin, P., Arbogast, R.-M., Pétrequin, A.-M., Van Willigen, S. et Bailly, M., 2006b. La traction animale au Néolithique : diversité des documents, diversité des approches, in Pétrequin P, Arbogast, R.-M., Pétrequin, A.-M., Van Willigen, S. et Bailly, M., *Premiers*

chariots, premiers araires. La diffusion de la traction animale en Europe pendant les IV^e et III^e millénaires avant notre ère, CNRS éditions, Paris: 11-20.

- Pétrequin, P., Pétrequin, A.-M. et Bailly, M., 2006c. Vues du Jura français: les premières tractions animales au Néolithique en Europe occidentale, in Pétrequin, P., Arbogast, R.-M., Pétrequin, A.-M., Van Willigen, S. et Bailly, M., *Premiers chariots, premiers araires. La diffusion de la traction animale en Europe pendant les IV^e et III^e millénaires avant notre ère*, CNRS éditions, Paris: 361-98.
- Pétrequin, P., Chastel, J., Giligny, F., Pétrequin, A.-M. et Saintot, S., 1987-1988. Réinterprétation de la civilisation Saône-Rhône : une approche des tendances culturelles du Néolithique final. *Gallia Préhistoire*, 30: 1-89.
- Pétrequin, P. et Pétrequin, A.-M., 2005. Premiers attelages de boeufs à Chalain (Jura, France) au XXXe siècle av. J.-C. *Revue de Paléobiologie*, 10: 197-207.
- Pittard, E., 1909. *Anthropologie de la Suisse. Crania helvetica*. Librairie Kündig, Genève.
- Plochocki, J. H., 2002. Directional bilateral asymmetry in human sacral morphology. *International Journal of Osteoarchaeology*, 12: 349-55.
- Plochocki, J. H., 2004. Bilateral variation in limb articular surface dimensions. *American Journal of Human Biology*, 6: 328-33.
- Polloni, A., 2008. Parures individuelles et sépultures collectives à la fin du Néolithique en Bassin parisien. *Préhistoires Méditerranéennes*, 14: 75-89.
- Puymerail, L., Ruff, C. B., Bondioli, L., Widiyanto, H., Trinkaus, E. et Macchiarelli, R., 2012. Structural analysis of the Kresna 11 *Homo erectus* femoral shaft (Sangiran, Java). *Journal of Human Evolution*, 63: 741-9.
- Rayan, G. M., 1992. Archery-related injuries of the hand, forearm, and elbow. *Southern Medical Journal*, 85: 961-4.
- Reinhard, K., Tieszen, L., Sandness, K., Beiningen, L., Miller, E., Ghazi, A., Miewald, C. et Barnum, S., 1994. Trade, contact, and female health in northeast Nebraska, in Larsen, C. et Milner, G., *In the wake of contact, biological responses to conquest*, Wiley-Lyss Press, New York: 63-74.
- Renault, S., 1998. Economie de la matière première. L'exemple de la production, au Néolithique final en Provence, des grandes lames en silex zoné oligocène du bassin de Forcalquier (Alpes-de-Haute-Provence), in D'Anna, A. et Binder, D., *Production et identité culturelle. Actualité de la recherche. Actes de la deuxième session des Rencontres méridionales de Préhistoire récente*, Arles, 1996, APDCA, Antibes: 145-61.

- Renault, S., 2006. La production de grandes lames au Néolithique final en Provence : matériaux exploités, multiplicité des productions, aspects technologiques et chrono-culturels, in Vaquer, J. et Briois, F., *La fin de l'âge de pierre en Europe du sud : matériaux et productions lithiques taillées remarquables dans le Néolithique et le Chalcolithique du sud de l'Europe*, Editions des Archives d'Ecologie préhistorique, Toulouse: 139-64.
- Rhodes, J. A. et Knüsel, C. J., 2005. Activity-related skeletal change in medieval humeri: Cross-sectional and architectural alterations. *American Journal of Physical Anthropology*, 128: 536-46.
- Riggs, B. L., Melton, L. J., Robb, R. A., Camp, J. J., Atkinson, E. J., McDaniel, L., Amin, S., Rouleau, P. A. et Khosla, S., 2008. A population based assessment of rates of bone loss at multiple skeletal sites: evidence for substantial trabecular bone loss in young adult women and men. *Journal of Bone and Mineral Research*, 23: 205-14.
- Riquet R. 1970. *Anthropologie du Néolithique et du Bronze ancien*. Société d'Anthropologie de Paris, Poitiers: 279.
- Robb, J. E., 1998. The interpretation of skeletal muscle sites: A statistical approach. *International Journal of Osteoarchaeology*, 8: 363-77.
- Rodineau, J., 1991. Pathogénie des enthésopathies du membre supérieur, in Simon, L., Hérisson, C. et Rodineau, J., *Pathologie des insertions et enthésopathies*, Masson, Paris: 166-71.
- Rolle, P., 1988. *Travail et salariat*, Presses universitaires de Grenoble, Grenoble: 149.
- Rossi, M. et Gattiglia, A., 2005. Les poignards de Remedello hors d'Italie : révision des données, in *La première métallurgie en France et dans les pays limitrophes, actes du colloque international de Carcassonne, 28-30 septembre 2002*, Société Préhistorique Française, Paris: 265-71.
- Rubin, C., McLeod, K. et Basin, S., 1990. Functional strains and cortical bone adaptation: epigenetic assurance of skeletal integrity. *Journal of Biomechanics*, 23: 43-54.
- Rubin, G., 1975. The traffic in women: toward a political economy of sex, in Reiter, R., *Towards an Anthropology of Women*, Monthly Review Press, New York and London: 157-210.
- Ruff, C. B., 1983. The contribution of cancellous bone to long bone strength and rigidity *American Journal of Physical Anthropology*, 61: 141-3.
- Ruff, C. B., 1987. Sexual dimorphism in human lower limb bone structure: relationship to subsistence strategy and sexual division of labor. *Journal of Human Evolution*, 16: 391-416.
- Ruff, C. B., 1999. Body size, body shape, and long bone strength in modern humans. *Journal of Human Evolution*, 38: 269-90.

- Ruff, C. B., 2002. Long bone articular and diaphyseal structure in Old World monkeys and apes. I: locomotor effects. *American Journal of Physical Anthropology*, 119: 305–42.
- Ruff, C. B., 2003. Growth in bone strength, body size, and muscle size in a juvenile longitudinal sample. *Bone*, 33: 317-29.
- Ruff, C. B., 2008. Biomechanical analyses of archaeological human skeletons, in Katzenberg, A. et Saunders, S. R., *Biological anthropology of the human skeleton*, Alan R. Liss, New York: 183-206.
- Ruff, C. B. et Hayes, W. C., 1983. Cross-sectional geometry of Pecos Pueblo femora and tibiae—a biomechanical investigation I : Method and general patterns of variation. *American Journal of Physical Anthropology*, 60: 359-81.
- Ruff, C. B., Larsen, C. S. et Hayes, W. C., 1984. Structural changes in the femur with the transition to agriculture on the Georgia coast. *Am J Phys Anthropol*, 64: 125-36.
- Ruff, C. B., Scott, W. W. et Liu, A. Y.-C., 1991. Articular and diaphyseal remodeling of the proximal femur with changes in body mass in adults. *American Journal of Physical Anthropology*, 86: 397-413.
- Ruff, C. et Runestad, J., 1992. Primate limb bone structural adaptations. *Annual Review of Anthropology*, 21: 407–33.
- Ruff, C. B., Trinkaus, E., Walker, A. et Larsen, C. S., 1993. Postcranial robusticity in Homo. I: Temporal trends and mechanical interpretation. *American Journal of Physical Anthropology*, 91: 21-53.
- Ruff, C. B., McHenry, H. M. et Thackeray, J. F., 1999. Cross-sectional morphology of the SK 82 and 97 proximal femora. *American Journal of Physical Anthropology*, 109: 509-21.
- Ruff, C. B. et Larsen, C. S., 2001. Reconstructing behavior in Spanish Florida: The biomechanical evidence, in Larsen, C. S., *Bioarchaeology of Spanish Florida: the impact of colonialism*, University Press of Florida, Gainesville: 113-45.
- Ruff, C., Holt, B. et Trinkaus, E., 2006. Who's afraid of the big bad Wolff? : "Wolff's law" and bone functional adaptation. *American Journal of Physical Anthropology*, 129: 484-98.
- Ruff, C. B., Holt, B., Niskanen, M., Sladěk, V., Berner, M., Garofalo, E., Garvin, H., Hora, M., Majjanen, H., Niinimäki, S., Salo, K., Schuplerová, E. et Tompkins, D., 2012. Stature and body mass estimation from skeletal remains in the European Holocene. *American Journal of Physical Anthropology*, 148: 601–17.
- Ruoff, U., 2006. Roue et chars : les plus anciennes découvertes de Suisses, in Pétrequin P, Arbogast, R.-M., Pétrequin, A.-M., Van Willigen, S. et Bailly, M., *Premiers chariots*,

premiers araires. La diffusion de la traction animale en Europe pendant les IV^e et III^e millénaires avant notre ère, CNRS éditions, Paris: 133-40.

- Salanova, L. et Sohn, M., 2007. Mobilier funéraire et modes de différenciation des morts à la fin du Néolithique en Europe occidentale, in Baray, L., Brun, P. et Testart, A., *Pratiques funéraires et sociétés : nouvelles approches en archéologie et en anthropologie sociale*, Editions Universitaires de Dijon, Dijon: 77-90.
- Saporta, G., 2006. La régression linéaire simple, in *Probabilités, analyses des données et statistiques*, Editions Technip: 387-405.
- Saunders, S., 1978. *The development and distribution of discontinuous morphological variation of the human infra-cranial skeleton*, National Museums of Canada, archaeological survey of Canada, Ottawa: 549.
- Sauzade, G., 1976. *Rapport sur les fouilles de sauvetage effectuées à l'hypogée du Capitaine à Grillon dans le Vaucluse* Direction des antiquités préhistoriques de Provence, Marseille: 19.
- Sauzade, G., 1977. *Rapport sur les fouilles de sauvetage effectuées à l'hypogée du Capitaine à Grillon dans le Vaucluse* Direction des antiquités préhistoriques de Provence, Marseille: 25.
- Sauzade, G., 1983. *Les Sépultures du Vaucluse, du Néolithique à l'Age du Bronze*, Etudes quaternaires, Laboratoire de Paléontologie humaine et de Préhistoire - Institut de Paléontologie humaine, Paris: 251.
- Sauzade, G., 1990. Les dolmens de la Provence occidentale et la place des tombes de Fontvieille dans l'architecture mégalithique méridionale, in Guilaine, J. et Gutherz, X., *Autour de Jean Arnal: recherches sur les premières communautés paysannes en Méditerranée occidentale*, Laboratoire de paléobotanique, Montpellier: 305-34.
- Sauzade, G., 1998. Les sépultures collectives provençales, in Soulier, P., *La France des dolmens et des sépultures collectives (4500 - 2000 avant J.C.)*. Bilans documentaires régionaux, Archéologie aujourd'hui, Errance, Paris: 291-328.
- Sauzade, G., 2011. Caractérisation chronoculturelle du mobilier funéraire en Provence au Néolithique final et au Bronze ancien : Évolution des rites funéraires liés à l'inhumation individuelle ou collective et distribution chronologique des sépultures. *Préhistoires méditerranéennes*, 2: 1-33.
- Sauzade, G., 2012. Offrandes, mobiliers et intentions perceptibles dans les sépultures provençales entre 3500 et 1800 avant J-C, in Sohn, M. et Vaquer, J., *Sépultures*

- collectives et mobiliers funéraires de la fin du Néolithique en Europe Occidentale*, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Toulouse: 177-212.
- Sauzade, G. et Bizot, B., 2010. *Goult : Dolmen de l'Ubac. Bilan scientifique. Région Provence-Alpes-Côte d'Azur, 2009*, Service régional de l'Archéologie - Direction régionale des Affaires culturelles, Aix-en-Provence: 236-7.
- Sauzade, G., Bizot, B., Brochier, J., Buisson-Catil, J., Magnin, F. et Martin, S., 2000a. *Rapport de synthèse du dolmen de l'Ubac (Goult, Vaucluse), fouille programmée pluriannuelle*, Service régional de l'Archéologie PACA - Direction régionale des Affaires culturelles, Aix en Provence: 55.
- Sauzade, G., Bizot, B., Brochier, J., Buisson-Catil, J., Magnin, F. et Martin, S., 2000b. *Rapport de synthèse du dolmen de l'Ubac (Goult, Vaucluse), fouille programmée pluriannuelle*. Service régional de l'Archéologie - Direction régionale des Affaires culturelles, Aix-en-Provence: 55.
- Sauzade, G., Bizot, B. et Buisson-Catil, J., 2001. Goult. Dolmen de l'Ubac, in *Bilan scientifique, région Provence-Alpes-Côte d'Azur, 2000*, Service régional de l'Archéologie - Direction régionale des Affaires culturelles, Aix-en-Provence: 190-3.
- Sauzade, G., Bizot, B. et Buisson-Catil, J., 2002. Goult. Dolmen de l'Ubac, in *Bilan scientifique, région Provence-Alpes-Côte d'Azur, 2001*, Service régional de l'Archéologie - Direction régionale des Affaires culturelles, Aix-en-Provence: 186-7.
- Sauzade, G., Buisson-Catil, J. et Bizot, B., 2003. Le dolmen de l'Ubac et son environnement immédiat (Goult, Vaucluse), in Gascó, J., Guthertz, X. et de Labriffe, P.-A., *Temps et espaces culturels : du 6ème au 2ème millénaire en France du Sud, 15^{ème} Rencontres méridionales de Préhistoire récente*, ADAL, Lattes: 335-46.
- Sauzade, G., Courtin, J. et Chambert, A., 1990. Un nouveau faciès du Néolithique final provençal : le groupe de Fraischamp, l'habitat de la Clairière à la Roque-sur-Pernes, Vaucluse. *Gallia Préhistoire*, 32: 151-78.
- Sauzade, G. et Duday, H., 1975-1976. L'abri de la Madeleine (Bédouin, Vaucluse). *Bulletin du Musée d'Anthropologie préhistorique de Monaco*, 20: 97-123.
- Schibler, J., Jacomet, S., Hüster-Plogmann, H. et Brombacher, C., 1997. Economic crash in the 37th and 36th centuries cal. BC in Neolithic lake shore sites in Switzerland. *Anthropozoologica*, 25-26: 553-70.
- Schmitt, A., 2005. Une nouvelle méthode pour estimer l'âge au décès des adultes à partir de la surface sacro-pelvienne iliaque. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 17: 89-101.

- Schmitt, A., 2008. Une nouvelle méthode pour estimer l'âge des individus décédés avant et après 40 ans. *Journal de Médecine Légale et de Droit Médical*, 51: 17-24.
- Schneider, C. A., Rasband, W. S. et Eliceiri, K. W., 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, 9: 671-5.
- Schoenau, E., Neu, C. M., Mokov, E., Wassmer, G. et Manz, F., 2000. Influence of puberty on muscle area and cortical bone area of the forearm in boys and girls. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 85: 1095-8.
- Seck, B., 2006. *Estimation pour les modèles linéaires généralisés : Approche marginale, approche conditionnelle et application*, mémoire de maîtrise (Maître ès sciences), Faculté des sciences et de génie, Université Laval, Québec.
- Seeman, E., 2001. Sexual dimorphism in skeletal size, density, and strength. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 86: 4576-84.
- Seeman, E. et Delmas, P. D., 2006. Bone quality: the material and structural basis of bone strength and fragility. *New England Journal of Medicine*, 354: 2250-61.
- Shaw, C. et Stock, J., 2009a. Habitual throwing and swimming correspond with upper limb diaphyseal strength and shape in modern human athletes. *American Journal of Physical Anthropology*, 140: 160-72.
- Shaw, C. et Stock, J., 2009b. Intensity, repetitiveness, and directionality of habitual adolescent mobility patterns influence the tibial diaphysis morphology of athletes. *American Journal of Physical Anthropology*, 140: 149-59.
- Shaw, C. et Stock, J., 2011. The Influence of body proportions on femoral and tibial midshaft shape in hunter-gatherers. *American Journal of Physical Anthropology*, 144: 22-9.
- Simmons, T., Jantz, R. L. et Bass, W. M., 1990. Stature estimation from fragmentary femora - a revision of the Steele method. *Journal of Forensic Sciences*, 35: 628-36.
- Singh, I., 1959. Squatting facets on the talus and tibia in Indians. *Journal of Anatomy*, 93: 540.
- Sládek, V., Berner, M., Galeta, P., Friedl, L. et Kudrnova, S., 2010. Technical note: the effect of midshaft location on the error ranges of femoral and tibial cross-sectional parameters. *American Journal of Physical Anthropology*, 141: 325-32.
- Sládek, V., Berner, M. E. et Sailer, R., 2006. Mobility in central European Late Eneolithic and Early Bronze Age: Femoral cross-sectional geometry. *American Journal of Physical Anthropology*, 130: 320-32.
- Sládek, V., Berner, M. E., Sosna, D. et Sailer, R., 2007. Human manipulative behavior in the Central European Late Eneolithic and Early Bronze Age: Humeral bilateral asymmetry. *American Journal of Physical Anthropology*, 133: 669-81.

- Sohn, M., 2006. *Du collectif à l'individuel : évolution des dépôts mobiliers dans les sépultures collectives d'Europe occidentale de la fin du IVe à la fin du IIIe millénaire av. J.-C.*, thèse de doctorat d'Ethnologie-Anthropologie-Préhistoire Université de Paris I Panthéon-Sorbonne, Paris.
- Sohn, M., 2008. Entre signe et symbole. Les fonctions du mobilier dans les sépultures collectives d'Europe occidentale à la fin du Néolithique. *Préhistoires Méditerranéennes*: 53-71.
- Sparacello, V. et Marchi, D., 2008. Mobility and subsistence economy: a diachronic comparison between two groups settled in the same geographical area (Liguria, Italy). *American Journal of Physical Anthropology*, 136: 485–95.
- Spoor, C. F., Zonneveld, F. W. et Macho, G. A., 1993. Linear measurements of cortical bone and dental enamel by computed tomography: applications and problems. *American Journal of Physical Anthropology*, 91: 469-84.
- Steele, D. G., 1970. Estimation of stature from fragments of long limb bones, in, *Personal Identification in Mass Disasters*, Washington, DC, Smithsonian Institute.
- Steele, D. G. et McKern, T. W., 1969. A method for assessment of maximum long bone length and living stature from fragmentary long bones. *American Journal of Physical Anthropology*, 31: 215-27.
- Steen, S. L. et Lane, R. W., 1998. Evaluation of habitual activities among two Alaskan Eskimo populations based on musculoskeletal stress markers. *International Journal of Osteoarchaeology*, 8: 341-53.
- Stinson, S., 1985. Sex differences in environmental sensitivity during growth and development. *Yearbook of Physical Anthropology*, 28: 123-47.
- Stirland, A. J., 1998. Musculoskeletal evidence for activity: Problems of evaluation. *International Journal of Osteoarchaeology*, 8: 354-62.
- Stock, J. et Pfeiffer, S., 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: 337–48.
- Stock, J. et Shaw, C., 2007a. 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: 412-23.
- Stock, J. T. et Shaw, C. N., 2007b. 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: 412-23.
- Stock, J. T., 2002. A test of two methods of radiographically deriving long bone cross-sectional properties compared to direct sectioning of the diaphysis. *International Journal of Osteoarchaeology*, 12: 335-42.
- Stock, J. T., 2006. Hunter-gatherer postcranial robusticity relative to patterns of mobility, climatic adaptation, and selection for tissue economy. *American Journal of Physical Anthropology*, 131: 194-204.
- Strahm, C., 2005. L'introduction de la métallurgie en Europe, in Guilaine, J., *Le Chalcolithique et la construction des inégalités, Tome I, Le continent européen. Séminaire du Collège de France*, Errance, Paris: 49-71.
- Testart, A., 1986. *Essai sur les fondements de la division sexuelle du travail chez les chasseurs-cueilleurs*, EHESS (Cahiers de l'Homme), Paris: 102.
- Thiébaud, S., 1988. *L'Homme et le milieu végétal : analyse anthracologique de six gisements des Préalpes sud-occidentales aux Tardi et Postglaciaire*, MMSH, E. d. I., Documents d'Archéologie Française, 15, Paris.
- Thiébaud, S., 2005. L'apport du fourrage d'arbre dans l'élevage depuis le Néolithique. *Anthropozoologica*, 40: 95-108.
- Thirault, E., 2004. *Echanges néolithiques: les haches alpines*, Ed. Monique Mergoïl, Montagnac: 472.
- Tobias, J. H., Steer, C. D., Emmett, P. M., Tonkin, R. J., Cooper, C. et Ness, A. R., 2005. Bone mass in childhood is related to maternal diet in pregnancy. *Osteoporosis international*, 16: 1731-41.
- Tobias, P. V., 1972. Growth and stature in South African populations, in Vorster, D., *Human Biology of Environmental Change*, International Biological Program, London: 96-104.
- Trinkaus, E., 1975. Squatting among the neandertals: a problem in the behavioral interpretation of skeletal morphology. *Journal of Archaeological Science*, 2: 327-51.
- Trinkaus, E. et Churchill, S. E., 1999. Diaphyseal cross-sectional geometry of near eastern Middle Palaeolithic humans : the humerus. *Journal of Archaeological Science*, 26: 173-84.
- Trinkaus, E., Churchill, S. E. et Ruff, C. B., 1994. Postcranial robusticity in *Homo*. II: Humeral bilateral asymmetry and bone plasticity. *American Journal of Physical Anthropology*, 93: 1-34.

- Trotter, M., 1937. Accessory sacro-iliac articulations. *American Journal of Physical Anthropology*, 22: 247-55.
- Van Valen, L., 1962. A study of fluctuating asymmetry. *Evolution*: 125-42.
- Van Willigen, S., 2010. La stratigraphie du Mourre de la Barque (Jouques, Bouches-du-Rhône) et la fin du Néolithique moyen en Provence occidentale, in Lemercier, O., Furestier, R. et Blaise, E., *Quatrième Millénaire : du Néolithique moyen au Néolithique final dans le sud-est de la France et les régions voisines*, Monographies d'archéologie méditerranéenne, Publications de l'UMR 5140 / ADAL, Lattes: 45-73.
- Vernet, J., 1995. Anthracologie, biostratigraphie et relations homme-milieu en région méditerranéenne, in Van Deer Leeuw, S., *L'Homme et la dégradation de l'environnement : XVèmes Rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes. 20-22 octobre 1994*, APDCA, Sophia-Antipolis: 175-84.
- Villotte, S., 2008a. *Enthésopathies et activités des hommes préhistoriques : recherche méthodologique et application aux fossiles européens du Paléolithique supérieur et du Mésolithique*, thèse de doctorat en anthropologie biologique, Université Bordeaux I, Bordeaux: 380.
- Villotte, S., 2008b. Les marqueurs ostéoarticulaires d'activité, in Charlier, P., *Ostéo-archéologie et techniques médico-légales : tendances et perspectives. Pour un "Manuel pratique de paléopathologie humaine"*, Editions De Boccard, Paris: 383-9.
- Villotte, S., Castex, D., Couallier, V., Dutour, O., Knüsel, C. J. et Henry Gambier, D., 2010. Enthesopathies as occupational stress markers: evidence from the upper limb. *American Journal of Physical Anthropology*, 142: 224-34.
- Voisin, J. L., 2012. Les caractères discrets des membres supérieurs: un essai de synthèse des données. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 24: 107-30.
- Voruz, J.-L., Nicod, P.-Y. et de Ceuninck, G., 1995. Les chronologies néolithiques dans le Bassin rhodanien : un bilan, in Voruz, J.-L., *Chronologies néolithiques : de 6000 à 2000 avant notre ère dans le Bassin rhodanien*. Société Préhistorique Rhodanienne, Ambérieu-en-Bugey: 381-404.
- Vosteen, M., 2006. Une double invention : véhicules à roues et traction animale, in Pétrequin P, Arbogast, R.-M., Pétrequin, A.-M., Van Willigen, S. et Bailly, M., *Premiers chariots, premiers araires. La diffusion de la traction animale en Europe pendant les IV^e et III^e millénaires avant notre ère*, CNRS éditions, Paris: 239-46.
- Waldron, T., 1994. *Coutings the dead : the epidemiology of skeletal populations*, John Wiley and Sons Ltd., Chichester: 101.

- Wallace, I. J., Middleton, K. M., Lublinsky, S., Kelly, S. A., Judex, S., Garland, T. et Demes, B., 2010. Functional significance of genetic variation underlying limb bone diaphyseal structure. *American Journal of Physical Anthropology*, 143: 21-30.
- Weiss, E., 2003a. Understanding muscle markers: aggregation and construct validity. *American Journal of Physical Anthropology*, 121: 230-40.
- Weiss, E., 2003b. Effects of rowing on humeral strength. *American Journal of Physical Anthropology*, 121: 293-302.
- Weiss, E., 2005. Humeral cross-sectional morphology from 18th century Quebec prisoners of war: Limits to activity reconstruction. *American Journal of Physical Anthropology*, 126: 311-7.
- Weiss, E., 2007. Muscle markers revisited: activity pattern reconstruction with controls in a central California Amerind population. *American Journal of Physical Anthropology*, 133: 931-40.
- Weiss, E., 2009a. Sex differences in humeral bilateral asymmetry in two hunter-gatherer populations: California Amerinds and British Columbian Amerinds. *American Journal of Physical Anthropology*, 140: 19-24.
- Weiss, E., 2009b. Spondylolysis in a pre-contact San Francisco Bay population: behavioural and anatomical sex differences. *International Journal of Osteoarchaeology*, 19: 375-85.
- Wilczak, C. A., 1998. Consideration of sexual dimorphism, age, and asymmetry in quantitative measurements of muscle insertion sites. *International Journal of Osteoarchaeology*, 8: 311-25.
- Winiger, A., 2006. Les chemins d'accès des villages néolithiques et bronze ancien de Concise (Lac de Neuchâtel, Vaud, Suisse), in Pétrequin P, Arbogast, R.-M., Pétrequin, A.-M., Van Willigen, S. et Bailly, M., *Premiers chariots, premiers araires. La diffusion de la traction animale en Europe pendant les IV^e et III^e millénaires avant notre ère*, CNRS éditions, Paris: 121-32.
- Wright, L. E. et Vasquez, M. A., 2003. Estimating the length of incomplete long bones: Forensic standards from Guatemala. *American Journal of Physical Anthropology*, 120: 233-51.
- Zumwalt, A., Ruff, C. et Wilczak, C., 2000. Primate muscle insertions: what does size tell you? *American Journal of Physical Anthropology*, 30: 331.

Etude des modèles d'activités par l'analyse fonctionnelle du squelette post-crânien de séries ostéoarchéologiques du Néolithique final en Provence

A ce jour, aucune étude ne s'est penchée sur les modèles d'activités des sociétés du Néolithique final provençal d'après les données biologiques. Celles-ci permettent d'**appréhender les activités régulières des populations** et de tenter de **reconstituer leurs comportements « habituels »**. Pour résister aux stimulations fonctionnelles durant la vie d'un sujet, le tissu osseux s'adapte. Ces adaptations sont dites **Marqueurs Ostéoarticulaires d'Activités (MOA)** : adaptations structurales, manifestations pathologiques et caractères morphologiques ostéoarticulaires. On peut leur adjoindre les indices anatomiques de biométrie en lien avec l'adaptation aux sollicitations, classifiant les morphotypes. Les études comparant les indicateurs sont rares et non concordants.

Nos travaux ont un double objectif : (1) **analyser conjointement les indicateurs** afin de qualifier la relation entre leurs développements d'après les sollicitations fonctionnelles ; (2) **étudier les modes d'exécution des activités d'un ensemble funéraire collectif vauclusien**, l'hypogée des Boileau. Nous avons élargi cette étude à **l'échelle départementale** avec quatre gisements funéraires : les hypogées du Capitaine et de Roaix et le dolmen de l'Ubac. Le but est d'appréhender l'homogénéité ou la spécificité des comportements entre sujets et séries grâce aux différents indicateurs sur la majorité des os longs. L'étude des adaptations structurales a bénéficié de l'approche tomographique.

Aucune relation directement due aux sollicitations n'a été mise en évidence **entre les indicateurs**. Leur développement de chacun d'entre eux dû aux sollicitations est indépendant de la présence d'un autre et ne l'infèrent pas. Les indicateurs sont complémentaires par les informations qu'ils apportent à l'échelle globale du squelette ou d'une zone anatomique.

Les activités des sujets de l'hypogée des Boileau sont **bilatérales** et la pratique d'activités spécialisées n'a pas été mise en évidence. Les femmes ont un **investissement physique similaire** à celui des hommes pour le membre supérieur avec toutefois quelques différences comportementales. Les hommes sont plus **mobiles** et la posture récurrente du membre inférieur est différente par rapport aux femmes. La **posture accroupie** a été observée chez les deux sexes. Nous proposons l'existence d'une **division sexuelle des tâches**.

La comparaison inter-échantillon indique **une homogénéité comportementale** avec quelques nuances selon les sites concernant principalement la posture du membre inférieur et les muscles sollicités du membre supérieur. La topographie n'a pas eu un impact important sur la robustesse du membre inférieur pour chacune des séries. Le mobilier associé aux défunts ne permet pas de mettre en contexte les modes d'exécutions des activités.

Nos travaux apportent un nouvel éclairage sur **les indicateurs de l'activité et le comportement** des populations du Néolithique final.

Mots-clefs : Analyse fonctionnelle, Marqueurs Ostéoarticulaires d'Activités, Modèles d'activités, Provence, Néolithique final, Ensembles funéraires collectifs

Functional analysis of the postcranial skeleton to study behavioral patterns: applications to osteological series of the late Neolithic in Provence.

The late Neolithic societies in Provence depend on spheres of influence of different scales describing a culturally complex landscape. So far, no study has focused on behaviors of these Provençal human groups based on the human skeleton. It can be used to decipher the activity patterns of past populations and reconstruct their behavioral patterns. To withstand the functional stimulations during the life of a subject, the bone adapts itself. These adaptations are called Occupational Markers and consist of: structural adaptations, pathological manifestations and morphological osteoarticular markers. One can add to that the anatomical indexes from classic biometry classifying morphotypes depending of these adaptations to mechanical loads. Studies comparing the indicators are rare and ambiguous.

Our work has two aims. First, the joint analysis of the indicators in order to qualify the relationship between their developments based on the mechanical loads. Then, the study of the behavioral patterns of one collective funeral deposit in Vaucluse: the hypogeum of Boileau. Then, we expand the study at the departmental scale while comparing four funeral deposits: the Capitaine and Roaix hypogeums and the dolmen of the Ubac. The goal is to apprehend the homogeneity or the specificity of behaviors between subjects and samples through the various indicators thanks to the long bones. The study of structural adaptations has benefited from a CT-scan approach.

No relationship due to mechanical loads was confirmed between the indicators. Their developments are not influenced by the presence of another one and do not relate to one another. Indicators bring complementary information on a global skeleton or a smaller scale.

The activities of the Boileau hypogeum subjects are bilateral and specialized activities are difficult to demonstrate. Males have a physical investment equal to females for the upper limb with a few behavioral differences. Men are more mobile and their recurring postural mode for the lower limb is different. The squatting posture is common for both sexes. We propose a sexual division of labor.

Inter-samples stressed a behavioral uniformity with a few differences depending on the samples comparisons for the posture of the lower limb and the solicited muscles of the upper limb. Topography has no real impact on the robusticity of the lower limb for all samples. The artifacts in the burials cannot be used to reconstruct the behavioral patterns. Thus, the context of behavior is problematic.

Our work sheds light on occupational markers and behavioral patterns of late Neolithic populations' data.

Key-words: Functional analysis, Occupational Markers, Behavioral patterns, Provence, late Neolithic, Collective burials