



HAL
open science

Étude des os du pied du fossile de la Ferrassie 2 (Dordogne)

Olivia Périsset

► **To cite this version:**

Olivia Périsset. Étude des os du pied du fossile de la Ferrassie 2 (Dordogne). Archéologie et Préhistoire. 2011. dumas-01303041

HAL Id: dumas-01303041

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01303041>

Submitted on 15 Apr 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - ShareAlike 4.0 International License

MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE – Paris
INSTITUT DE PALEONTOLOGIE HUMAINE – Paris
Master 2 Quaternaire et Préhistoire
Paléoenvironnement, Lignée Humaine, Histoire des sociétés

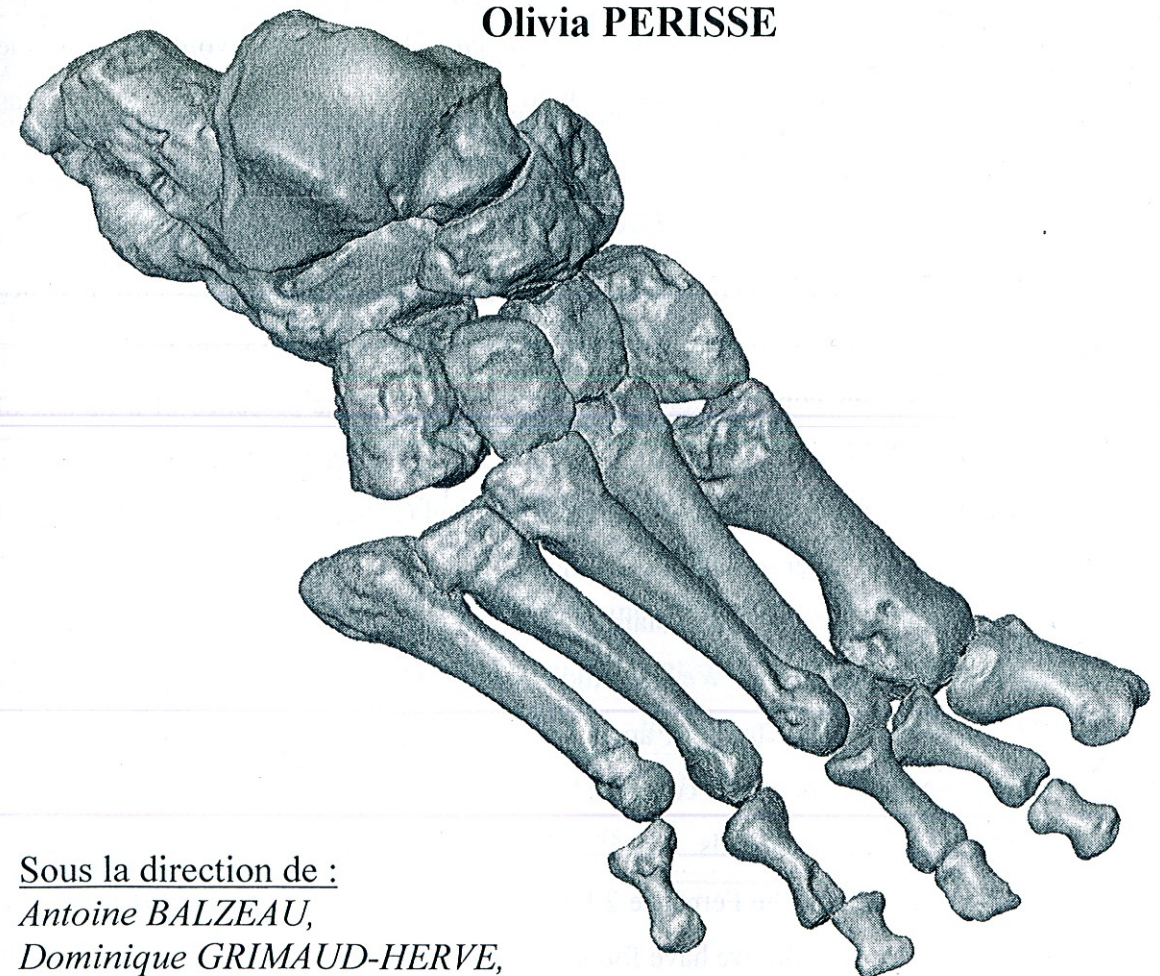


ETUDE DES OS DU PIED DU FOSSILE DE LA FERRASSIE 2 (DORDOGNE)

Mémoire de Master 2

Présenté par

Olivia PERISSE



Sous la direction de :

Antoine BALZEAU,

Dominique GRIMAUD-HERVE,

Muséum national d'Histoire naturelle

Département de Préhistoire UMR 7194 du CNRS Musée de l'Homme

Résumé

Le pied droit de La Ferrassie 2 est un fossile exceptionnellement bien conservé, notamment car tous les os sont présents, hormis les cinq phalanges distales. Ces os sont de plus encore en position, connexion anatomique. Cette conservation a été permise grâce à la présence d'une gangue de sédiments entourant ce pied. Dans le but de préserver ce fossile ainsi que d'avoir accès à sa structure interne et externe, nous l'avons passé dans un CT scanner médical. Ce fossile a été étudié informatiquement afin d'en obtenir un modèle 3D.

Nous avons ensuite étudié la morphologie de tous les os isolés, comparée avec celle des os du pied gauche de La Ferrassie 2 qui ont été retrouvés. Nous avons également étudié ce pied en le divisant en colonnes articulaires, afin d'identifier la forme de la voûte plantaire et la position de son hallux. De plus, après avoir mesuré des angles sur chacun de ces os, nous les avons comparés avec les os de pieds d'autres Néandertaliens et des *Homo sapiens* fossiles.

Nous avons trouvé que le pied droit de La Ferrassie 2 possède trois arches plantaires, qui diffèrent très légèrement de celles du pied d'*Homo sapiens*. De plus, nous avons identifié que l'hallux est très faiblement abducté. Ainsi, le pied droit de La Ferrassie 2 ne diffère pas énormément de ceux des autres Néandertaliens et des *Homo sapiens* fossiles.

Abstract

The right foot of La Ferrassie 2 is an exceptionally well-preserved fossil, especially because all the bones are present, except the five distal phalanges. These bones are still in position, in anatomical connection. This conservation was possible thanks to the presence of a matrix of sediment surrounding the foot. In order to preserve the fossil as well as having access to its internal and external structure, we have spent it in a medical CT scanner. This fossil has been studied computationally in order to obtain a 3D model.

We then studied the morphology of all isolated bones, compared with that of the bones of the left foot Ferrassie 2 that were found. We also studied the foot by dividing it into column joints to identify the shape of the plantar arch and the position of the hallux. Furthermore, after measuring angles on each bone, we compared them with the bones of the feet of other Neanderthals and *Homo sapiens* fossils.

We found that the right foot of the Ferrassie 2 has three arches which differ slightly from the foot of *Homo sapiens*. In addition, we have found that the hallux is very weak abducted. Thus, the right foot of La Ferrassie 2 does not differ greatly from those of other Neanderthals and *Homo sapiens* fossils.

Remerciements

Je souhaite tout d'abord vivement remercier Messieurs François Sémah et Denis Vialou, professeurs et responsables de ce Master, de m'avoir offert l'occasion de réaliser mon rêve en m'acceptant à l'Institut de Paléontologie Humaine : en apprendre plus sur les origines de l'Homme et sur les premiers représentants du genre *Homo*.

Je remercie également très chaleureusement les Professeurs Antoine Balzeau, Dominique Grimaud-Hervé et Florent Détroit d'avoir accepté de diriger ce travail et surtout pour leur disponibilité, leur soutien et leurs précieux conseils. Je tiens également à les remercier de m'avoir proposé un sujet si captivant.

Merci également à tous les enseignants-chercheurs de l'IPH et du Muséum ainsi qu'à tout le personnel de l'IPH sans qui ce Master ne serait pas tel qu'il est.

Je voudrais aussi remercier Monsieur Gilles Bérillon et Madame Carole Vercoutère pour leur disponibilité, leur aide et leurs conseils.

Merci à Laurent Puymeraill et Clément Zanolli pour leur aide incomparable, leur soutien et le partage de leur connaissance bibliographique durant cette année de Master 2.

Je remercie de tout cœur le personnel du bâtiment 140, avec lequel j'ai pu passer une année inoubliable ; tellement de bons moments et de merveilleux souvenirs, grâce à vous tous. Merci tout particulièrement à Aggeliki Theodoropoulou, Maddalena Cataldi, Laurence Glémarec qui m'ont tant soutenue, ainsi qu'à Liliana Huet, Yamna Badday, Manon Galland et Julien Corny.

Merci à mes camarades et amis de Master avec lesquels j'ai passé de bons moments ; Aurélie Manin, Aurélie Léone, Luz Segura, Victor Sierpe, Archie Tiauzon...

Je tiens à remercier mes parents qui me permettent de suivre ces études, d'apprendre tous les jours un peu plus et cela sans inquiétude grâce à leur soutien affectif.

Enfin, un merci tout particulier à Jacques qui m'a toujours soutenue, aidée, encouragée, conseillée et qui m'aide à avancer, et cela depuis de nombreuses années maintenant. Tu as toujours su trouver les mots...

Sommaire

| | |
|---|----|
| Résumé / Abstract..... | 2 |
| Remerciements..... | 3 |
| Introduction..... | 5 |
| I - Présentation du site de La Ferrassie (Dordogne)..... | 7 |
| II - Historique des découvertes de Néandertaliens..... | 11 |
| III - Matériel étudié: le pied droit de La Ferrassie 2 et matériel de comparaison..... | 14 |
| IV - Méthode..... | 17 |
| 1- Acquisition (CT médical)..... | 17 |
| 2 - Segmentation des données tomographiques (Avizo®)..... | 18 |
| 3 - Etude du tarse et du métatarse..... | 21 |
| a) L'analyse des dimensions..... | 21 |
| b) L'analyse angulaire..... | 23 |
| V - Le complexe tarso-métatarsien de La Ferrassie 2..... | 31 |
| 1 - L'analyse des os isolés..... | 31 |
| a) Talus..... | 31 |
| b) Calcanéum..... | 34 |
| c) Cuboïde..... | 37 |
| d) Naviculaire..... | 39 |
| e) Cunéiformes..... | 40 |
| f) Métatarsiens..... | 44 |
| g) Phalanges..... | 48 |
| h) Sésamoïde..... | 52 |
| 2 - Comparaison des pieds de LF2 avec des spécimens d' <i>Homo sapiens</i> fossiles et d'autres Néandertaliens (dimorphisme interspécifique)..... | 53 |
| 3 - L'analyse des colonnes articulaires..... | 64 |
| a) Squelette médial..... | 64 |
| b) Squelette latéral..... | 69 |
| c) Relations entre les squelettes médial et latéral..... | 72 |
| Synthèse et Discussion..... | 73 |
| Conclusion..... | 77 |
| Bibliographie..... | 79 |
| Liste des figures..... | 82 |
| Liste des tableaux..... | 84 |
| Annexes..... | 85 |
| Annexe 1 - Plans de référence..... | 85 |
| Annexe 2 - Terminologie anatomique..... | 86 |
| Annexe 3 - Tableaux des valeurs angulaires du squelette podal de La Ferrassie 2..... | 93 |
| Annexe 4 - Planches des restes du squelette de La Ferrassie 2..... | 97 |

Introduction

Le site de La Ferrassie, en Dordogne, a fourni une série de squelettes Néandertaliens, dont deux adultes de sexe féminin et masculin (La Ferrassie 1 et 2) ainsi que cinq enfants (La Ferrassie 3, 4, 4bis, 5, 6 et 8) (Delporte, 1984).

Le pied droit de La Ferrassie 2 est exceptionnellement bien conservé, puisque la plupart de ses os ont été préservés en connexion anatomique dans une gangue de sédiments, seuls quelques éléments des phalanges n'ont pas été retrouvés.

Ce spécimen, mis au jour en 1910, par Capitan et Peyrony (Capitan et Peyrony, 1912), constitue l'une des pièces les plus remarquables du squelette postcrânien des Néandertaliens d'Europe. Il apporte de nouvelles informations sur notre connaissance de l'anatomie des Néandertaliens, la morphologie de leurs pieds, leur architecture puisque presque complet et en connexion anatomique. L'analyse détaillée du spécimen devrait nous permettre de répondre à plusieurs questions qui jusqu'à présent restées controversées, notamment en ce qui concerne la forme de la voûte plantaire, ainsi que la position de l'hallux. En effet, la voûte plantaire a-t-elle la même forme que celle d'*Homo sapiens*? Est-elle constituée de trois arches plantaires, tout comme *Homo sapiens*? L'hallux de La Ferrassie 2 est-il abducté, ou est-il adducté, comme chez *Homo sapiens*?

Afin d'étudier ce spécimen, tout en le conservant dans son état actuel, ce fossile a été numérisé à l'aide d'un scanner CT (computerized tomography scanner) médical. Cette méthode d'imagerie non invasive permet d'avoir accès aussi bien à la structure externe qu'interne de l'objet. L'acquisition a fourni des coupes en 2D du pied, qui une fois segmentées, ont été compilées afin d'obtenir un objet en 3D. La segmentation, étape cruciale du post-traitement des données d'imagerie radiographiques, consiste à séparer les différents composants du volume d'image définissant le spécimen (air, os et sédiment).

Le travail a été dans un second temps de faire une description morphologique détaillée de chacun des os retrouvés, puisque pour la première fois, nous avons pu avoir accès à leur morphologie complète puisqu'ils avaient été individuellement virtuellement isolés de la gangue sédimentaire. Ensuite, les os ont été étudiés regroupés, par colonne articulaire, dans le but de décrire et de quantifier les caractéristiques architecturales des différentes structures anatomiques étudiées. Les os du pied droit de La Ferrassie 2 ont été comparés métriquement au pied gauche du même spécimen, bien que celui-ci ne soit pas complet. Les dimensions utilisées ont été reprises de l'étude que Jean-Louis Heim avait effectuée sur le spécimen de La Ferrassie 1 (Heim, 1982).

Grâce à une analyse angulaire de chacun des os, une comparaison a pu être effectuée par rapport aux os podaux de spécimens d'*Homo sapiens* fossiles, ainsi qu'avec d'autres Néandertaliens. Les spécimens de comparaison ont été repris du travail de Gilles Bérillon sur l'architecture du pied des hominidés fossiles notamment (Bérillon, 2000). Cette analyse a été effectuée dans le but d'identifier des ressemblances et des différences entre le pied droit de La Ferrassie 2, et notamment *Homo sapiens*, surtout dans la forme de la voûte plantaire, et par conséquent des différentes arches la composant. En effet, la voûte plantaire est composée de trois arches : la longitudinale médiale (ou interne), la longitudinale latérale (ou externe) et la transversale (ou antérieure).

A partir des résultats de ces différentes analyses complémentaires, l'objectif de cette recherche est de décrire la morphologie des os du pied droit de La Ferrassie 2, et d'effectuer une comparaison avec des os podaux d'autres Néandertaliens, ainsi que de certains fossiles d'*Homo sapiens*, notamment dans l'architecture de la voûte plantaire, et dans la position de l'hallux. Cette étude nous ouvre de nouvelles perspectives.

La locomotion des Néandertaliens était-elle différente de celle d'*Homo sapiens* ? Pouvaient-ils marcher de la même manière que les *Homo sapiens*, avaient-ils la même endurance ? Le pied des Néandertaliens est-il mieux adapté à des terrains variés que peut l'être le pied d'*Homo sapiens* ? De même, la conservation de ce spécimen nous permet-elle de conclure sur la possibilité qu'il ait été enseveli intentionnellement ?

Ce travail de recherche apportera des éléments pour traiter ces questions qui nous permettraient d'en connaître encore plus sur le mode de vie des Néandertaliens et leur locomotion. Il contribue particulièrement à notre connaissance de l'anatomie du squelette podal des Néandertaliens, par l'analyse détaillée et en grande partie inédite du pied droit de La Ferrassie 2 dont la plupart des caractères anatomiques et morphométriques étaient inaccessibles.

I - Présentation du site de La Ferrassie (Dordogne):

Le site de la Ferrassie se situe à Savignac-de-Miremont, en Dordogne. Il fut découvert en 1895, à la suite d'un terrassement pour la construction de la RN 12. Le site de La Ferrassie était composé, à l'origine, d'un petit abri, d'une grotte et d'un Grand Abri. Néanmoins, au début de ce terrassement, le site ne ressemblait qu'à une vaste butte ne laissant donc pas entrevoir encore l'abri sous roche, qui révélera plus tard tous les vestiges, les restes humains de Néandertaliens, qui rendront célèbre ce site français (*figure 1*).

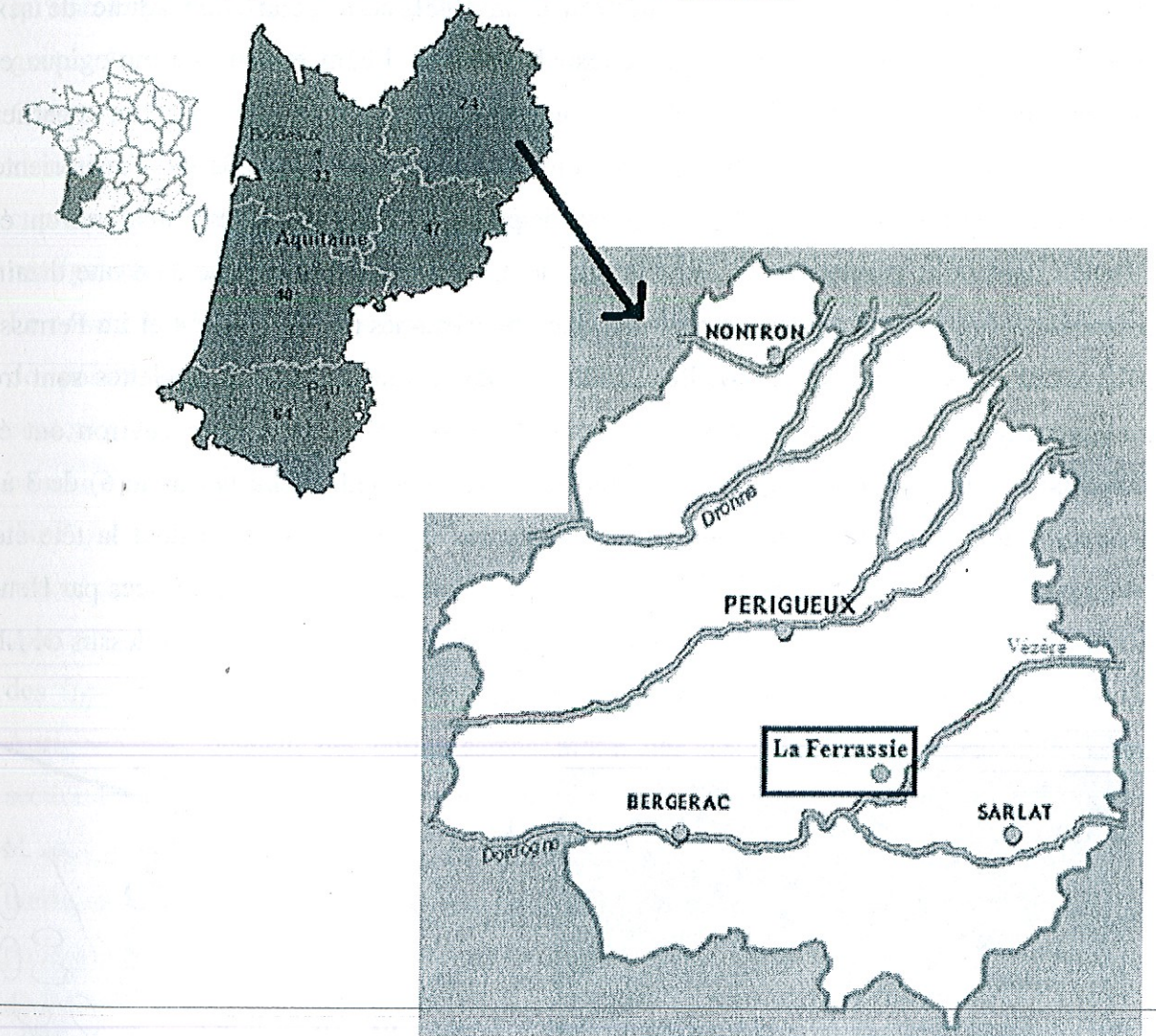


Figure 1 : La Ferrassie, localisation géographique.

Dès 1896, Denis Peyrony et Louis Capitan y ont effectué des fouilles, jusqu'en 1922. Les fouilles ont été ensuite reprises par Henry Delporte de 1968 à 1973, puis par Alain Turq à partir de 2010. Entre 1909 et 1920, les restes de sept individus, dont cinq enfants et deux adultes (un homme et une femme) ont été exhumés (*figure 2*) (Capitan et Peyrony, 1912). Ensuite, durant les fouilles organisées par Henri Delporte, les restes d'un septième individu,

un enfant, ont été découverts. L'ensemble de tous ces restes constitue donc une des séries les plus importantes de Néandertaliens européens (Delporte, 1984). Les deux squelettes d'adultes (Capitan et Peyrony, 1912) font partie des restes de Néandertaliens les plus complets découverts à ce jour. Ils représentent donc pour les chercheurs une source d'informations et de savoirs extrêmement importante et fondamentale dans la connaissance de ce groupe fossile.

Les squelettes des deux adultes ont été retrouvés dans des fosses d'une couche moustérienne datée entre -75 000 et -60 000 ans. Ils étaient disposés à 50 cm environ l'un de l'autre. Le squelette de La Ferrassie 1, trouvé en 1909, correspond à un adulte de sexe masculin dont la tête était orientée à l'ouest. Il mesurait 1,71m et son âge biologique est estimé entre 40 et 45 ans (Heim, 1982). Le squelette de La Ferrassie 2, quant à lui, appartient à un adulte de sexe féminin dont l'âge est compris entre 25 et 35 ans. Sa tête était orientée vers l'est (Delporte, 1984). A proximité de ces deux adultes, trois squelettes immatures ont été trouvés dans deux petites fosses. Dans la première, un enfant (La Ferrassie 3) d'une dizaine d'années a été exhumé, et dans la seconde, deux nouveau-nés (La Ferrassie 4 et La Ferrassie 4bis). Ces deux fosses ont été fouillées en 1912. Malheureusement, ces squelettes sont très fragmentaires. En 1920, les restes d'un fœtus (La Ferrassie 5) de 7 mois environ ont été trouvés dans un monticule. En 1921, ce sont les restes d'un enfant (La Ferrassie 6) de 3 à 5 ans qui ont été retrouvés, sous une dalle calcaire marquée de cupules, et dont la tête était séparée du corps de plus d'un mètre. Enfin, en 1969, durant les fouilles organisées par Henry Delporte, le corps d'un enfant (La Ferrassie 8) de 2 ans a été exhumé, juste au-dessus de LF5 (La Ferrassie 5), près de la paroi de l'abri (Delporte, 1984).

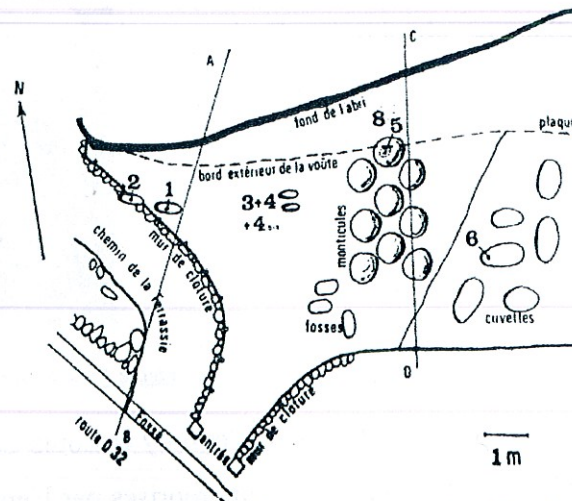
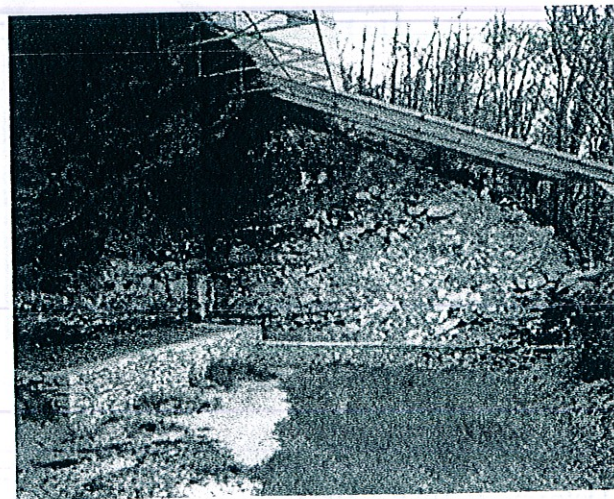


Figure 2 : Reconstitution du plan général du niveau moustérien dans la partie fouillée du grand abri et positionnement des différents squelettes, tel qu'il était représenté par Denis Peyrony en 1934 (AB : coupe de 1912, D : coupe de 1920. Les chiffres correspondent à l'appellation des squelettes. Le chiffre 8 désigne la zone d'où proviennent les dernières découvertes de restes humains (La Ferrassie 8, Delporte, 1973). En gris, fosses et monticules d'où furent extraits les squelettes humains).

Le petit abri date du moustérien, la grotte de l'aurignacien jusqu'au gravettien, et le Grand Abri, d'une épaisseur stratigraphique de plus de 8 mètres, recouvre une vaste séquence, du moustérien au périgordien (Leroi-Gourhan, 1997).

Dans ce Grand Abri, 18 couches stratigraphiques ont été référencées (*figure 3*). Les couches B, G, G'', I, M et N étaient stériles. La plus ancienne (A) a livré quelques bifaces cordiformes et éclats retouchés, appartenant au Moustérien de tradition acheuléenne. La couche C a fourni une importante couche d'outils moustériens, de débitage Levallois, ainsi qu'une large part de racloirs accompagnés de pointes moustériennes et de nombreux os gravés. Ce type d'industrie correspond au faciès Ferrassie.

C'est dans la couche D, moustérienne, que six sépultures néandertaliennes, indiscutablement structurées, ont été exhumées. Ces individus étaient accompagnés de pierres plates, dont une à cupules. Des ossements d'animaux, quelques fois encochés, et des outils de très belle qualité ont également été trouvés dans cette couche.

La couche E a livré des outils moustériens ainsi que du Paléolithique Supérieur, et notamment des pointes de Châtelperron. Cette couche, se divisant localement en deux strates (E' et E''), contenait dans sa partie la plus récente, des lamelles Dufour et des outils Aurignaciens. La couche F, quant à elle, renfermait des pointes à base fendue, de nombreux grattoirs sur lames ainsi que des lames étranglées, datant toutes de l'Aurignacien. La couche H a délivré de nombreux grattoirs dits Aurignaciens, des burins busqués et des pointes en os losangiques aplatis. Les grattoirs étaient carénés et à museau et sur des blocs calcaires ont été découverts des figurations d'animaux et de vulves, grossièrement gravées. La couche H', elle aussi Aurignacienne, détenait des burins carénés, ainsi que des pointes osseuses losangiques à section ovale, sur lesquelles des gravures de mêmes technique et style que celles de la couche H sont présentes. La couche H'', Aurignacienne, conservait des grattoirs sur lame et des burins carénés, assez abondants. La couche J, cette fois-ci d'industrie Gravettienne, a livré des pointes de la Gravette, des pointes à pédoncules de type de la Font-Robert. Les outils osseux, de même que les gravures sur pierre, sont ici très rares. La couche K, Périgordienne, contenait peu d'industrie, dont des pièces à dos tronquées. La couche L, Périgordienne également, était extrêmement pauvre en industrie, malgré la présence de quelques burins de Nouailles.

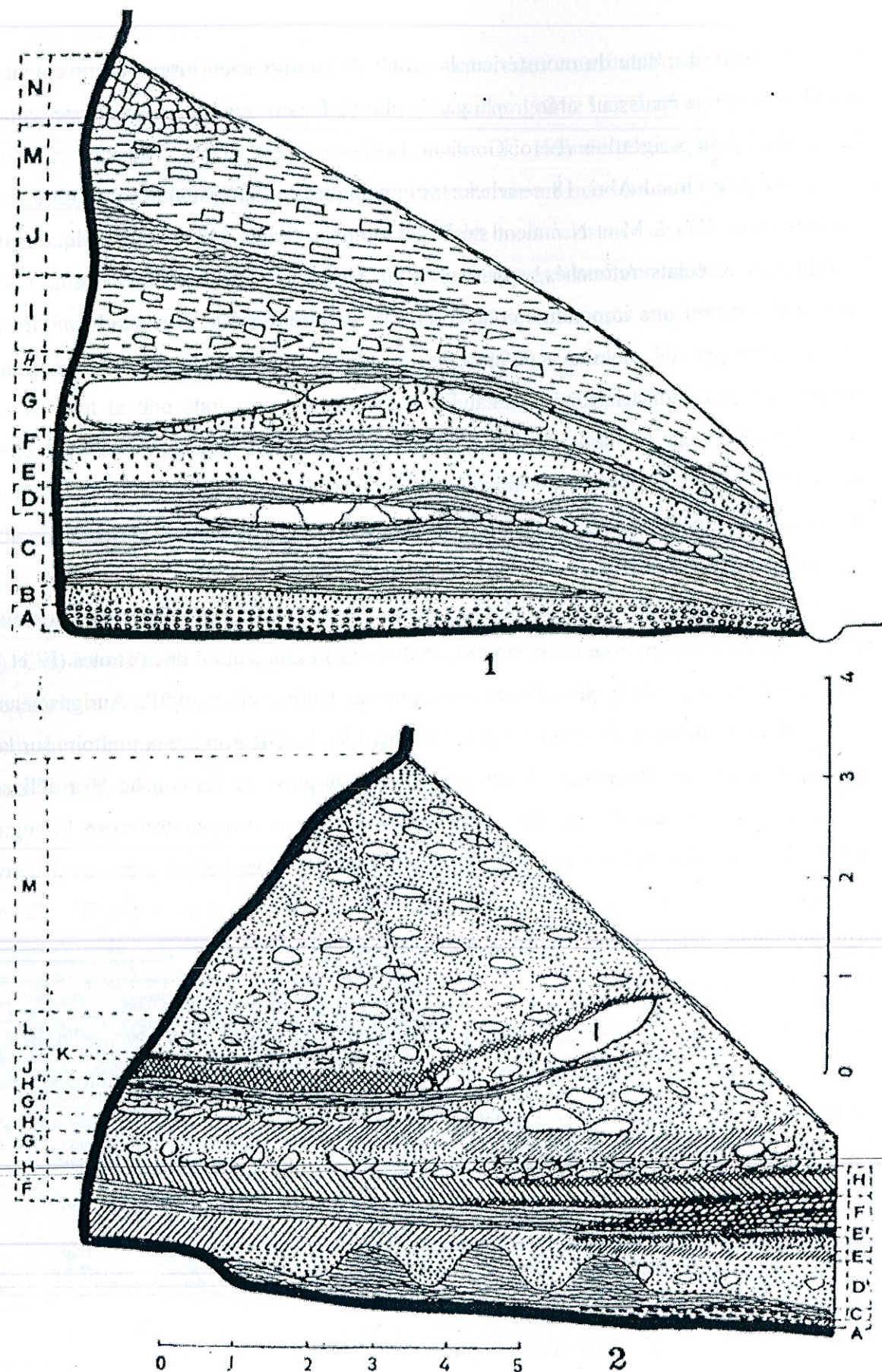


Figure 3 : Coupe du grand abri de La Ferrassie, d'après Peyrony, 1934 (Légende : se reporter au texte ci-dessus pour le contenu des couches).

II – Historique des découvertes de Néandertaliens

Le nom de *Neander-thal* signifie « la vallée de l'homme nouveau ».

C'est la découverte de l'Homme de Néandertal, en 1856, qui a donné naissance à la paléontologie humaine et à l'archéologie préhistorique en Europe occidentale. En effet, ce fut le premier hominidé fossile trouvé, dans la grotte de Feldhofer, près de Düsseldorf, dans la vallée de Neander. Il s'agissait certainement d'un squelette complet, sans doute même inhumé, mais dont seulement quelques éléments ont été retrouvés (une calotte crânienne, deux fémurs, un humérus droit, un os iliaque gauche, une scapula, un fragment d'humérus et d'ulna gauches ainsi que quelques côtes fragmentaires). H. Schaaffhausen attribua ces restes à une race humaine « sauvage » encore inconnue (Schaaffhausen, 1858). W. King nomme cette espèce fossile *Homo neanderthalensis* en 1864, incluant ainsi l'Homme de Néandertal au sein du genre *Homo*, sans néanmoins l'admettre dans l'espèce *sapiens*.

Toutefois, l'ancienneté de ce fossile a été souvent remise en question, du fait de sa position géologique incertaine et de ses caractères anatomiques particulièrement étranges. Quelques années avant la découverte du fossile de Neander, plusieurs autres avaient été découverts, dont deux comparables en Europe. En effet, en 1830, P.C. Schmerling a trouvé, dans la grotte d'Engis, près de Liège, un crâne d'enfant néandertalien. Cependant, du fait de son très jeune âge, l'identification des caractères le distinguant des Hommes actuels n'était alors pas possible. De plus, en 1848, un crâne adulte bien conservé fut découvert dans la carrière de Forbe's Quarry, à Gibraltar. Mais il ne fut pas étudié avant 1863. C'est à la suite d'une réévaluation effectuée par G. Busk en 1863 que l'importance de ce fossile fut reconnu : « Le crâne de Gibraltar accroît immensément la valeur scientifique du spécimen de Neandertal : il prouve que ce dernier n'est pas une simple particularité individuelle, mais qu'il est sans doute caractéristique d'une race qui s'étendait depuis le Rhin jusqu'aux colonnes d'Hercule » (Busk, 1863).

Après la découverte du fossile de Neander, beaucoup d'autres ont encore par la suite été trouvés. En 1866, une héli-mandibule, autrement appelée la « mâchoire de La Naulette » a été exhumée en Belgique, par E. Dupont. Celle-ci a par ailleurs révélé de nouveaux traits caractéristiques. Ensuite, vingt ans plus tard, en 1886, dans une caverne de la vallée de l'Orneau, et plus précisément dans la grotte de Spy, près de Namur, M. Lohest et M. de Puydt ont découvert dans un contexte géologique et archéologique indiscutable deux squelettes néandertaliens baptisés Spy 1 et Spy 2. C'est J. Fraipont qui a identifié d'une meilleure façon les caractéristiques anatomiques de ces fossiles, et qui les a daté plus précisément durant le

Paléolithique moyen. Cela lui a été possible notamment grâce à leur association avec une industrie, elle-même moustérienne (Fraipont et Lohest, 1887). Cette découverte aida définitivement la communauté scientifique à admettre l'existence du « *type néandertalien* », qui serait plus ancien que l'homme actuel et quelque peu différent.

D'autres découvertes ont été faites depuis. Notamment par O. Hauser en 1908, qui trouva sur le site du Moustier un squelette néandertalien. De même, H. Martin, en 1910, exhume dans les couches moustériennes de La Quina plusieurs restes néandertaliens, dont un correspondant à une femme (Martin, 1923). Durant cette même période, à La Ferrassie, L. Capitan et D. Peyrony ont trouvé sept sépultures néandertaliennes, entre 1909 et 1934. Ces découvertes donnent alors aux scientifiques la preuve d'un rite funéraire. En 1908, les frères P. et A. Buyssonie ont découvert dans la grotte de La Chapelle-aux-Saints un squelette presque complet et inhumé, qui fut étudié par M. Boule, reconnaissant les Néandertaliens comme des êtres plus proches des singes que des hommes actuels, ou même fossiles. Il les représenta même voûtés, avec un air stupide, de sorte qu'ils paraissent à peine sortis de l'animalité, de la bestialité. Cette image était produite dans le but de contraster très fortement avec l'aspect des Hommes de Cro-Magnon, à la fois altiers et supérieurs. En 1899, plus de quatre-vingt individus ont été découverts par K. Gorjanovic-Kramberger dans le site de Krapina.

Après la Seconde Guerre Mondiale, les Néandertaliens apparaissent comme les ancêtres directs des *Homo sapiens* du Paléolithique supérieur d'Europe occidentale (Weidenreich, 1946 et Hrdlička, 1927). Les Néandertaliens sont alors considérés soit comme une forme intermédiaire entre *Homo erectus* et *Homo sapiens*, soit comme une sous-espèce d'*Homo sapiens*.

Au milieu du XX^e siècle, certains traits jugés « primitifs », voire même « bestiaux », sont révisés et reconsidérés comme des traits adaptatifs à un climat froid (Patte, 1955), ou comme des traits pathologiques. En effet, en 1948, C. Arambourg découvre que la posture voûtée des Néandertaliens, attribuée par Boule à la suite de l'étude du fossile de La Chapelle-aux-Saints, ne représente donc que la présence d'arthrose des vertèbres cervicales affectant certains individus seulement. En 1951, F.C. Howell étudie des fossiles connus de Néandertaliens afin de comprendre les mécanismes évolutifs par rapport à leur diversification géographique (Howell, 1957). Il en résulte une classification des Néandertaliens tenant compte de leur origine, leurs migrations et leur diversification. Il identifie ainsi des « *Néandertaliens anciens* » ayant vécu pendant la période interglaciaire chaude, avec un squelette plus gracile et une anatomie moins spécialisée. Ils sont représentés par les fossiles de

Krapina, de Saccopastore, de Tabun, de Teshik-Tash. Ceux-ci auraient évolué en Europe Occidentale durant le début de la dernière période glaciaire en « Néandertaliens classiques », avec des caractères de plus en plus accentués et spécialisés pour une adaptation au froid. Les fossiles de Feldhofer, de La Chapelle-aux-Saints, du Moustier, de La Ferrassie, de Spy, de Gibraltar et du Monte Circeo font partie de cette catégorie de « *Néandertaliens classiques* ». De plus, ces « *Néandertaliens anciens* » auraient également évolué vers l'Est, cette fois, vers des formes de *sapiens* de type moderne, qui remplaceraient les Néandertaliens ouest-européens au début du Paléolithique supérieur (Cohen, 2007).

III – Matériel étudié: le pied droit de La Ferrassie 2 et matériel de comparaison

Le squelette de La Ferrassie 2 correspond à un individu de sexe féminin. Jean-Louis Heim (Heim, 1976) a déterminé le sexe du squelette de La Ferrassie 2 en le comparant avec celui de La Ferrassie 1, d'après la taille plus réduite des os des membres et de l'ouverture de la grande échancrure sciatique. Le squelette de La Ferrassie 2 était enseveli dans une fosse située dans une couche moustérienne, datée entre -75 000 et -60 000 ans. Sa tête était disposée à 50 cm environ de la tête de La Ferrassie 1. Le squelette de La Ferrassie 2 est un adulte de sexe féminin entre 25 et 35 ans ; sa tête était orientée vers l'est.

Le crâne de La Ferrassie 2 est réduit à quelques débris correspondant à la voûte ainsi qu'à deux fragments temporaux ; un maxillaire supérieur droit, comportant six dents (I1, I2, C, P1, P2, M1), une portion importante du temporal droit, une petite portion de la voûte crânienne, deux dents inférieures (I1 droite et P2 ou canine gauche) (Heim, 1982) (*Annexe 4*).

Les restes correspondant à la colonne vertébrale sont composés de cinq à sept vertèbres dorsales, de cinq vertèbres lombaires, du sacrum, réduit à S1, de nombreux fragments de corps vertébraux pouvant appartenir à dix ou onze vertèbres. De plus, des côtes déterminables appartiennent aux deux demi-cages thoraciques ; pour la demi-cage thoracique droite, un bloc avec six côtes ou fragments costaux (5^e, 7^e, 8^e, 9^e, 10^e, 11^e), et pour la demi-cage thoracique gauche, un bloc avec sept fragments costaux dont six sont superposées dans l'ordre (5^e, 6^e, 7^e, 8^e, 9^e, 10^e) ainsi qu'un bloc avec deux côtes très écrasées (11^e, 12^e) et deux fragments appartenant probablement à une même côte non identifiable (Heim, 1982).

Les restes comportaient également plusieurs fragments de scapulas droite et gauche, ainsi que les deux humérus, le radius droit, l'ulna droit, les deux rotules, les deux fibulas et les deux tibias. Des fragments des deux os iliaques ont également été trouvés, dont six fragments dont trois de l'ilion et trois de l'ischion pour l'os iliaque droit, quatre fragments dont trois de l'ilion et un de l'ischion pour l'os iliaque gauche. Les deux fémurs ont été retrouvés, avec pour le droit, la tête à part (Heim, 1982).

La main droite est presque complète, avec pour le carpe, la présence du scaphoïde, du trapèze, du trapézoïde, du capitatum et de l'hamatum. Le métacarpe est complet. Les premières et secondes phalanges sont toutes présentes, et les troisièmes ne sont représentées que par celle du métatarse I. La main gauche est moins complète, puisque le carpe n'est représenté que par le scaphoïde, le trapézoïde et le pisiforme. Le premier métacarpe est détruit à l'extrémité proximale. Le troisième, le quatrième et le cinquième sont, eux, complets. Pour les

métatarsiens II et IV, seules les premières phalanges ont été retrouvées, et les deuxièmes et les troisièmes phalanges pour les métatarsiens III et V (Heim, 1982).

Le pied gauche est représenté par treize os. Le tarse est complet (calcanéum, talus, naviculaire, cuboïde et trois cunéiformes). Le métatarse est complet. Seule la première phalange du métatarsien I a été retrouvée (Heim, 1982).

Le pied droit, quant à lui, est encore contenu dans sa gangue. Il est par conséquent extrêmement bien conservé, à part quelques éléments des orteils qui manquent (*figure 4*). En effet, le tarse et le métatarse sont complets, ainsi que les premières phalanges. Les secondes phalanges ne sont représentées que par celles des métatarses I, II, III et IV, et les troisièmes phalanges sont absentes (Heim, 1982).



Figure 4 : Photographie en vue supérieure du pied droit de La Ferrassie 2

Le matériel de comparaison, réparti en deux groupes de populations ; les *Homo sapiens* fossiles et les Néandertaliens, est composé de quatorze spécimens. Pour les *Homo sapiens* fossiles, il s'agit de Qafzeh 8, de Qafzeh 9 et de Pataud VI. Les spécimens de Néandertaliens sont ceux de La Chapelle-aux-Saints, de La Ferrassie 1, de Tabun C1, de Kiik-Koba 1, de Krapina 236, de Krapina 245, de Krapina 249.1, du Regourdou 1, d'Amud 1, de Subalyuk 1 et de Néandertal 1. Les données métriques de ce matériel de comparaison sont issues de la recherche effectuée par Gilles Bérillon (Bérillon, 2000). Les fossiles d'*Homo sapiens* sont composés des tarse et des métatarses droits et gauches. Le fossile de La Chapelle-aux-Saints est composé du talus et du calcanéum gauches, ceux de La Ferrassie 1, de Tabun C1 et de Kiik-Koba 1 des tarse et métatarses droits et gauches. Le spécimen de Krapina 236 est représenté par le talus gauche, celui de Krapina 245 par le métatarsien I droit, et celui de Krapina 249.1 par le métatarsien V droit. Le fossile du Regourdou 1 est composé des calcanéums droit et gauche, ainsi que du talus droit. Amud 1 est constitué du talus gauche, Subalyuk 1 du métatarsien IV gauche, et Néandertal 1 des métatarsiens II et III droits ainsi que du talus gauche.

IV – Méthode

1 – Acquisition numérique (CT médical) :

L'étude antérieure du pied droit de La Ferrassie 2 a été partielle (Heim, 1976) puisqu'il n'était pas possible de dégager physiquement les os et ainsi détruire ce fossile exceptionnellement bien conservé.

Depuis les années 1970, une nouvelle méthode permet d'obtenir des informations sur la structure anatomique externe et interne des os. Il s'agit de la tomographie médicale permettant de traiter de manière tridimensionnelle les objets d'étude (Hounsfield, 1973). Cette nouvelle technique est non invasive et permet aussi d'avoir accès à la structure interne des sujets étudiés. Le scanner CT (Computerized Tomography Scanner) est composé d'une source de rayons X ainsi que d'un détecteur cible qui tourne autour d'une table mobile où le sujet est placé (*figure 5*). La reconstitution tomographique consiste à collecter une série de coupes en 2D, qui sont ensuite compilées pour donner un objet en 3D (Beckett et Conlogue, 2010).

Le pied droit de La Ferrassie 2 a été scanné par un tomographe médical à haute résolution de l'Hôpital de la Pitié-Salpêtrière à Paris, le 1^{er} Août 2010. Il s'agit du modèle iCT 128 hélicoïdal (Siemens Sensation). Les coupes obtenues sont d'une épaisseur de 400 μm (0.4 mm).

Lors de l'acquisition, les coupes 2D, en format DICOM, sont des sections virtuelles dont les variations de densités osseuses sont figurées par 4096 niveaux de gris. Ainsi, l'air apparaît en noir puisqu'il n'absorbe pas de rayons X, ce qui correspond à la valeur -1000 dans les niveaux de gris, alors que les matériaux les plus denses apparaissent en blanc et possèdent donc une valeur de niveaux de gris de 3095 (Balzeau et al., 2010).

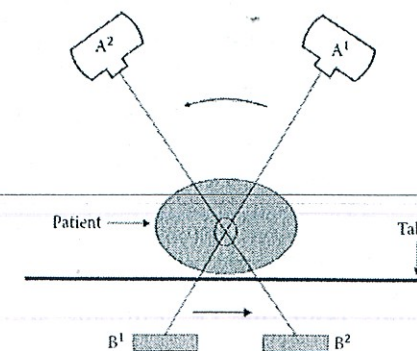


Figure 5 : Principe de fonctionnement d'un CT scanner ; la source de rayons X (A^1) est placée à un endroit de l'appareil, et le détecteur cible (B^1) est placé à l'opposé. A la fin de l'acquisition, la source de rayons X et le détecteur cible ont tourné autour du sujet étudié, faisant ainsi un tour de 360°, et revenant par conséquent à leur position initiale (Beckett et Conlogue, 2010).

2 - Segmentation des données tomographiques :

L'étude par imagerie numérique 3D permet d'individualiser et de différencier les ossements de l'air, du sédiment, et également dans ce cas des silex et de l'ossement animal présents dans la gangue entourant le fossile (*figure 6*). Cette étape, appelée segmentation, a été réalisée grâce au logiciel *Avizo v6.1* (Mercury Computer Systems).

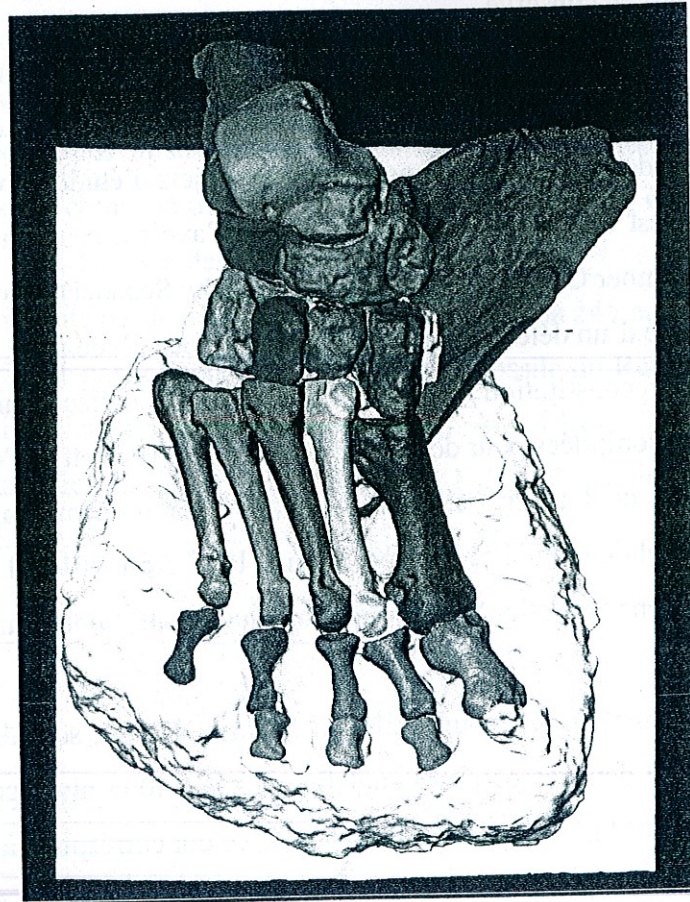


Figure 6 : Visualisation du pied droit de La Ferrassie 2, après acquisition au CT scanner.

Cette segmentation peut s'effectuer de manière automatique, ou manuelle. De façon générale, lorsque l'on segmente des ossements isolés, il faut dans un premier temps chercher à déterminer le seuillage à attribuer aux différentes zones des coupes. Ce seuillage se détermine grâce au logiciel *ImageJ v1.43u* (National Institutes of Health, USA) dans lequel, à partir d'une coupe 2D, nous devons tracer un trait traversant le sujet. Ce trait permet d'obtenir un histogramme, sur lequel nous pouvons estimer assez précisément la limite entre les différents composants de cette coupe. Mais pour que ce seuillage soit impartial, il faut réitérer cette étape sur plusieurs coupes, puis faire la moyenne des seuillages mesurés (Spoor et al., 1993 ; Fajardo et Muller, 2001).

Dans le cas du pied droit de La Ferrassie 2, la segmentation automatique n'a pu être utilisée car le seuillage des coupes s'est avérée être très difficile. En effet, les limites entre les

ossements du pied et le sédiment sont extrêmement difficiles à identifier et à appliquer automatiquement sur toutes les coupes ; les contrastes sont effectivement très faibles. Il a donc fallu travailler sur toutes les coupes 2D, et sur toutes les vues (XY : plan coronal, YZ : plan sagittale, XZ : plan transversal). Ce travail de segmentation a été effectué grâce à un outil de sélection, le « pinceau » (*figures 7 et 8*).

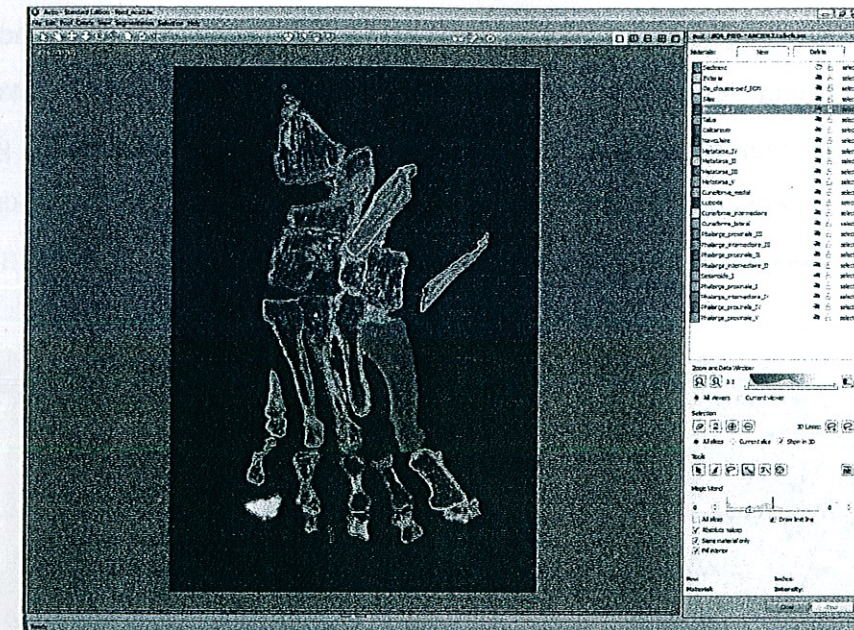


Figure 7 : Etape de segmentation manuelle grâce à l'outil « pinceau »

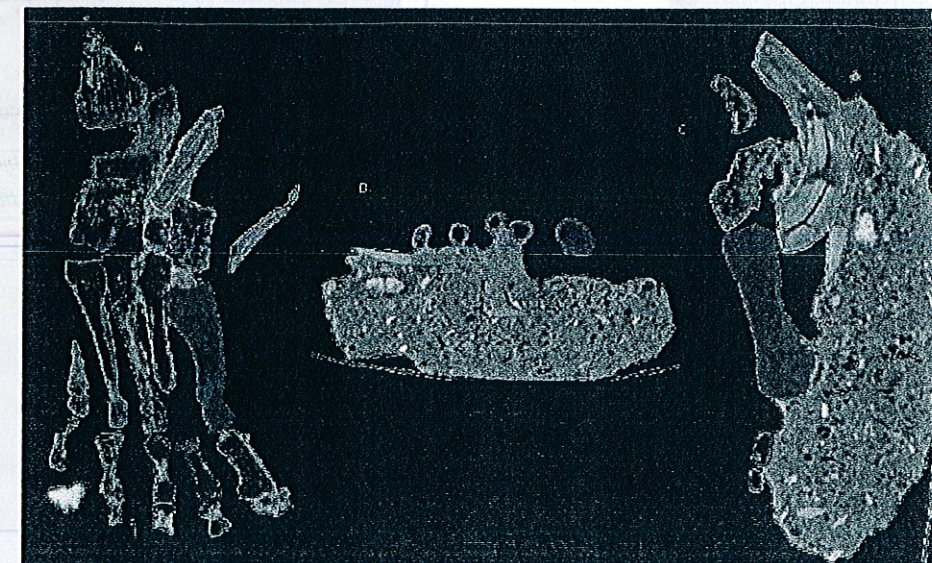


Figure 8 : Etape de segmentation manuelle grâce à l'outil « pinceau », selon les trois vues

(A : vue transversale ; B : vue coronale ; C : vue sagittale)

Sur chaque coupe, il fallait sélectionner manuellement les zones correspondant aux os. Grâce à une option d'interpolation, sur une dizaine de coupes, la segmentation a pu être plus rapide, même s'il fallait toutefois les retravailler manuellement. La difficulté a été ici que la segmentation obtenue sur une vue ne correspondait pas forcément avec celles des deux autres vues. Il fallait donc retravailler toutes les coupes plusieurs fois et sur les trois vues. Ce travail a été assez long, il a fallu y consacrer plusieurs mois, pour notamment appréhender le logiciel, puis travailler chacun des os du pied, en se basant sur les variations de niveaux de gris. Lorsque l'étape de segmentation a été terminée, les différentes sélections 2D, grâce à l'outil « SurfaceGen » ont été compilées afin de les transformer en 3D. Cet outil propose de lisser le volume, grâce à « unconstrained smoothing » (figures 9 et 10).

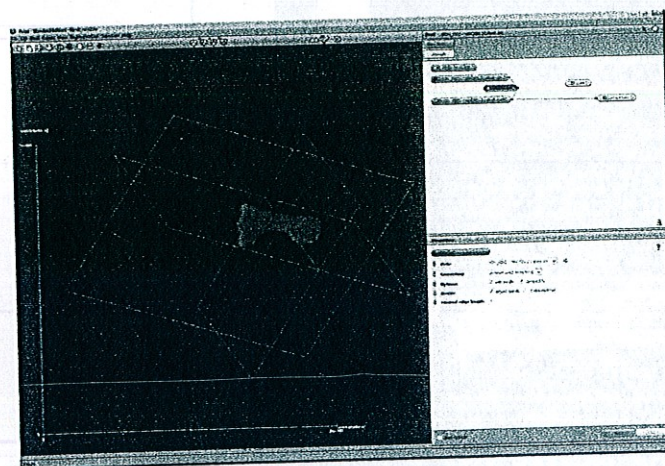


Figure 9 : Compilation des données 2D en 3D, à l'outil grâce à l'outil « SurfaceGen »

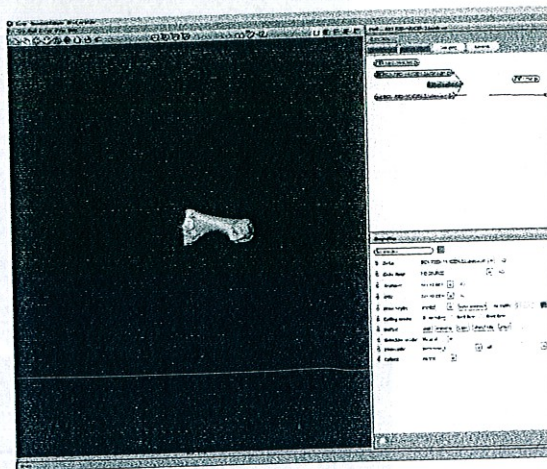


Figure 10 : Visualisation de l'objet en 3D grâce à l'outil « SurfaceView »

3 – Etude du tarse et du métatarse

a) L'analyse des dimensions :

L'annexe 2 définit les os podaux pour *Homo sapiens*. Pour étudier et analyser les os, plusieurs séries de mesures ont été prises. Pour chaque os, des mesures de longueurs (totale, axiale, maximale ou sagittale), largeurs (totale, médiane, antérieure, postérieure, minimale, maximale), et hauteurs permettent de comprendre et de comparer la morphologie du pied droit de La Ferrassie 2 avec le gauche (Heim, 1982).

TALUS :

Deux mesures de longueurs ont été prises ; la longueur totale et la longueur sagittale. La longueur totale est mesurée d'arrière en avant et de bas en haut ; elle est entre le point le plus reculé de la lèvre externe de la gouttière du long fléchisseur de l'hallux et le point le plus avancé de la tête du talus. La longueur sagittale est entre le point antérieur de la tête et le fond de la gouttière du long fléchisseur de l'hallux. Deux largeurs ont été prises ; la largeur totale et la largeur médiane. La largeur totale est perpendiculaire à l'axe sagittal de la trochlée depuis le sommet du processus latéral jusqu'à la partie la plus médiale de l'os. La largeur médiane est prise entre le processus latéral et le point de la face interne situé dans un plan perpendiculaire au plan sagittal de la trochlée. Deux hauteurs ont été mesurées ; celle au bord interne, et celle au fond de la gorge de la trochlée. L'indice de hauteur correspond à la hauteur au bord interne par rapport à la longueur totale du talus. Sur la trochlée, des mesures ont été prises ; la longueur axiale, la longueur comparée à la longueur totale du talus, les largeurs médiane, antérieure et postérieure, l'indice de largeur (largeur médiane/longueur axiale), les hauteurs au bord interne et au bord externe. La tête du talus est définissable grâce à la longueur du grand axe et au diamètre transverse maximum.

CALCANEUM :

Trois mesures de longueurs ont été prises ; la longueur maximale, la longueur axiale et la longueur du talon. La longueur maximale est comprise entre les points les plus saillants du grand axe du calcaneum. La longueur axiale correspond au centre de la surface cuboïdienne. La longueur du talon s'exprime par l'indice de longueur du talon (longueur du talon/longueur maximale du calcaneum). Deux largeurs ont été mesurées ; la largeur médiane et la largeur minimale du talon. L'indice de largeur médiane (largeur médiane/longueur maximale) a été mesuré. La largeur minimale du talon est prise en arrière des surfaces articulaires talaires. L'indice de largeur minimale du talon (largeur minimale/longueur maximale) a été mesuré. Deux hauteurs ont été prises ; la hauteur du corps du calcaneum et la hauteur minimale du

talon. Deux indices de hauteurs ont été pris: l'indice de hauteur du calcanéum (hauteur/longueur maximale), ainsi que l'indice de hauteur minimale du talon (hauteur minimale/longueur maximale).

CUBOÏDE :

Trois mesures ont été prises ; la longueur maximale de la face interne, la longueur du bord externe et l'indice rapportant la longueur du bord externe à celle de la face interne. L'indice du cuboïde (longueur maximale de la face interne/longueur du bord externe) a été calculé.

NAVICULAIRE :

Quatre mesures ont été prises ; la largeur, la hauteur, l'épaisseur externe et l'épaisseur interne. L'épaisseur externe correspond à l'épaisseur au centre de la surface articulaire pour le cunéiforme latéral du naviculaire, et l'épaisseur interne à l'épaisseur au centre de la surface articulaire pour le cunéiforme médial. Deux indices ont été calculés ; l'indice du naviculaire (hauteur/largeur) et celui d'épaisseur (épaisseur externe/épaisseur interne).

CUNEIFORMES :

Cunéiforme médial :

Trois mesures ont été prises ; la longueur au bord supérieur, la hauteur antérieure (épaisseur de l'articulation distale), et la hauteur postérieure (épaisseur de l'articulation proximale). Trois indices ont été calculés ; l'indice de longueur (longueur au bord supérieur/longueur du pied), l'indice d'épaisseur distale (hauteur antérieure/longueur au bord supérieur) et celui de développement distal (hauteur antérieure/hauteur postérieure).

Cunéiforme intermédiaire :

Quatre mesures ont été prises ; la longueur maximale, la largeur au milieu, la largeur distale et la largeur proximale. Trois indices ont été calculés ; l'indice de longueur (longueur maximale/longueur du pied), l'indice de largeur sur la longueur (largeur au milieu/longueur maximale) et celui de largeur distale (largeur distale/largeur proximale).

Cunéiforme latéral :

Deux mesures ont été prises ; la longueur maximale et la largeur au milieu. Deux indices ont été calculés ; l'indice de longueur (longueur maximale/longueur du pied), l'indice de largeur/longueur (largeur au milieu/longueur maximale).

MÉTATARSIENS :

Premier et second métatarsiens :

La longueur, la largeur au milieu, l'épaisseur au milieu et la largeur de la base ont été mesurées sur le premier et le second métatarsien. Sept indices ont été calculés ; la longueur

par rapport au pied, au tarse, à la largeur du tarse, la largeur au milieu par rapport à la longueur du pied, à la longueur des métatarsiens I et II, l'épaisseur au milieu par rapport à la largeur au milieu et la largeur de la base par rapport à la longueur des métatarsiens I et II. Pour le premier métatarsien, l'épaisseur de la base, la largeur de la tête, la longueur du condyle ont été de plus prises. Cinq indices ont été calculés ; la largeur de la tête par rapport à la longueur du pied, à la longueur du métatarsien I, la longueur de la course du condyle par rapport à la longueur du pied, à la longueur du métatarsien I et par rapport à la largeur de la tête.

Troisième, quatrième et cinquième métatarsiens :

Trois mesures ont été prises ; la longueur, la largeur et la longueur de la base. Trois indices ont été calculés ; l'indice de longueur du métatarsien par rapport à la longueur du pied, à la longueur du tarse, et enfin la longueur de la base par rapport à la longueur du métatarsien.

PHALANGES :

Seule la longueur totale a été mesurée. Deux indices ont été calculés ; la longueur totale par rapport à la longueur du pied, et par rapport à la longueur du métatarse auquel la phalange appartient.

b) L'analyse angulaire :

Le tableau 1 présente la liste des angles mesurés ainsi que leur définition. Tous les angles décrivent l'orientation d'une surface articulaire respectivement à l'axe d'allongement d'un os, selon l'un des trois plans d'observations. Ainsi, l'inclinaison désigne un angle mesurant une orientation médio-latérale dans le plan horizontal ; l'inclinaison symbolise un angle qui montre une orientation dorso-plantaire dans le plan vertical ; et, la torsion correspond à un angle qui mesure l'orientation relative de deux parties d'un même os dans le même plan vertical (Bérillon, 2000).

Tableau 1a : Liste et définitions des angles mesurés sur les os du tarse et du métatarse : le Talus (d'après Bérillon, 2000)

| | Définitions (Martin et al., 1957) |
|----------------|---|
| TalTPI | Inclinaison du plan trochléen (par rapport à la verticale) |
| TalIND | Déclinaison de la tête et du col du talus (par rapport à l'axe trochléen) |
| TalNI | Inclinaison de la tête et du col du talus (par rapport à l'horizontale) |
| TalHT | Torsion de la tête et du col du talus (angle entre l'axe médio-latéral de la surface articulaire du naviculaire et l'horizontale) |
| TalCapI | Inclinaison de la surface articulaire calcanéenne postérieure du talus (par rapport à la verticale, au niveau de l'extension médio-latérale maximale) |
| TalCamI | Inclinaison de la surface articulaire calcanéenne moyenne du talus (par rapport à la verticale, au niveau de l'extension médio-latérale maximale) |
| TalCaal | Inclinaison de la surface articulaire calcanéenne antérieure du talus (par rapport à la verticale, au niveau de l'extension médio-latérale maximale) |
| TalCapD | Déclinaison de la surface articulaire calcanéenne postérieure du talus (angle entre l'axe proximo-distal de la surface articulaire calcanéenne et la perpendiculaire à l'axe trochléen) |
| TalCaaD | Déclinaison de la surface articulaire calcanéenne antérieure du talus (angle entre l'axe proximo-distal de la surface articulaire calcanéenne et la perpendiculaire à l'axe trochléen) |

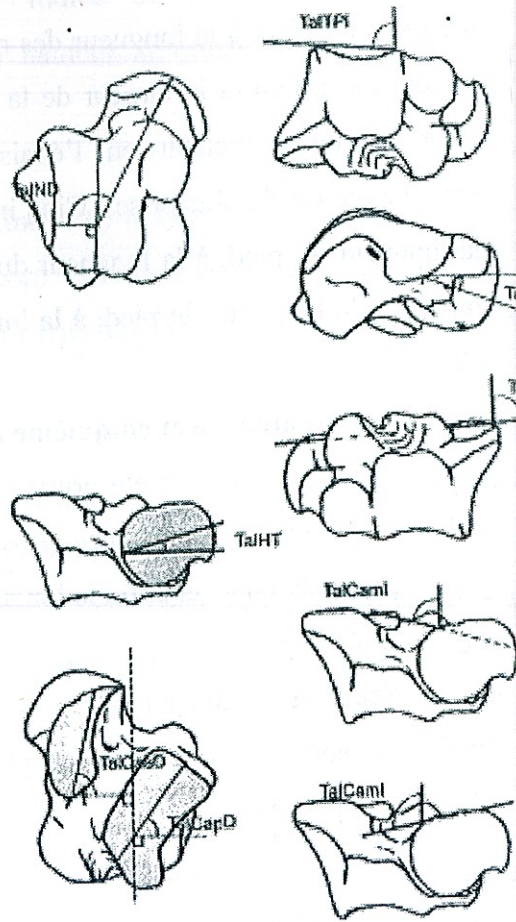


Tableau 1b : Liste et définitions des angles mesurés sur les os du tarse et du métatarse : le Calcaneum (d'après Bérillon, 2000)

| | Définitions (Martin et al., 1957) |
|----------------|---|
| CalTapI | Inclinaison de la surface articulaire talaire postérieure du calcaneum (par rapport à l'horizontale au niveau de l'extension médio-latérale maximale) |
| CalTamI | Inclinaison de la surface articulaire talaire moyenne du calcaneum (par rapport à l'horizontale au niveau de l'extension médio-latérale maximale) |
| CalTaal | Inclinaison de la surface articulaire talaire antérieure du calcaneum (par rapport à l'horizontale au niveau de l'extension médio-latérale maximale) |
| CalTI | Torsion proximo-distale du calcaneum (angle entre l'axe d'allongement du processus médial de la tubérosité avec l'axe médio-latéral de la surface articulaire cuboïdienne du calcaneum) |
| CalCuD | Déclinaison de la surface articulaire cuboïdienne du calcaneum (angle entre l'axe médio-latéral de la surface articulaire cuboïdienne avec le grand axe du calcaneum) |
| CalCul | Inclinaison de la surface articulaire cuboïdienne du calcaneum (angle entre l'axe dorso-plantaire de la surface articulaire pour le cuboïde et la grand axe du calcaneum) |
| CalTapD | Déclinaison de la surface articulaire talaire postérieure du calcaneum (angle entre l'axe proximo-distal de la surface articulaire talaire avec la perpendiculaire du grand axe du calcaneum) |
| CalTaaD | Déclinaison de la surface articulaire talaire antérieure du calcaneum (angle entre l'axe proximo-distal de la surface articulaire talaire avec la perpendiculaire du grand axe du calcaneum) |

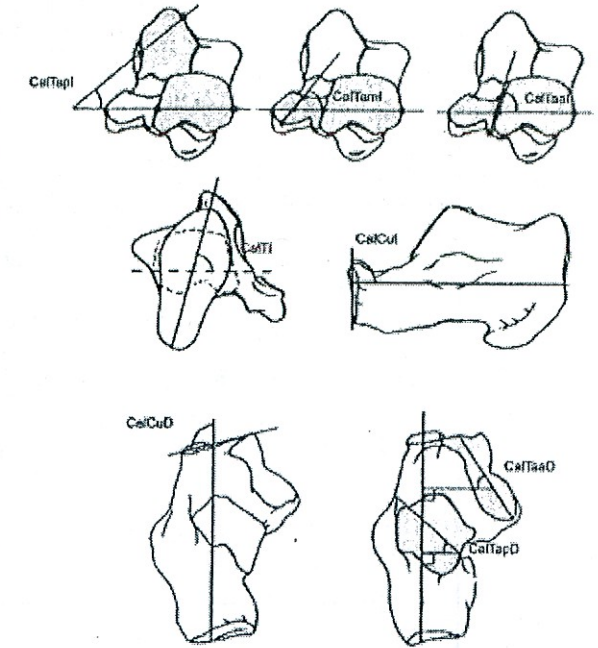


Tableau 1c : Liste et définitions des angles mesurés sur les os du tarse et du métatarse : le Cuboïde (d'après Bérillon, 2000)

| | Définitions (Martin et al., 1957) |
|---------------|--|
| CubmpD | Angle proximo-distal du cuboïde (angle entre l'axe médio-latéral de la surface articulaire calcanéenne avec la face médiale du cuboïde) |
| Cubmpl | Inclinaison de la face médiale du cuboïde (angle entre l'axe médio-latéral de la surface articulaire calcanéenne avec la face médiale du cuboïde) |
| CubT | Torsion proximo-distale du cuboïde (angle entre les axes médio-latéraux des surfaces articulaires calcanéenne et métatarsienne) |
| Cub4D | Déclinaison de la surface articulaire du cuboïde pour le métatarsien IV (angle entre les axes médio-latéraux des surfaces articulaires métatarsienne IV et calcanéenne) |
| Cub5D | Déclinaison de la surface articulaire du cuboïde pour le métatarsien V (angle entre les axes médio-latéraux des surfaces articulaires métatarsienne V et calcanéenne) |
| Cub4I | Inclinaison de la surface articulaire du cuboïde pour le métatarsien IV (angle entre l'axe dorso-plantaire de la surface articulaire pour le métatarsien IV et la verticale) |
| Cub5I | Inclinaison de la surface articulaire du cuboïde pour le métatarsien V (angle entre l'axe dorso-plantaire de la surface articulaire pour le métatarsien V et la verticale) |

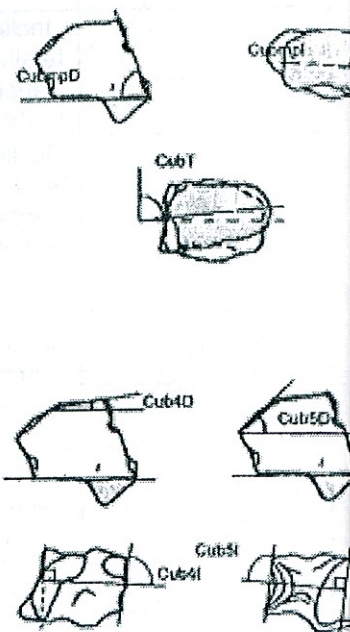


Tableau 1d : Liste et définitions des angles mesurés sur les os du tarse et de métatarse : le Naviculaire (d'après Bérillon, 2000)

| | Définitions (Martin et al., 1957) |
|--------------|--|
| NamD | Déclinaison de la surface articulaire du naviculaire pour le cunéiforme médial (angle entre l'axe médio-latéral de la surface articulaire pour le cunéiforme médial et la verticale) |
| NavID | Déclinaison de la surface articulaire du naviculaire pour le cunéiforme intermédiaire (angle entre l'axe médio-latéral de la surface articulaire pour le cunéiforme intermédiaire et la verticale) |
| NavID | Déclinaison de la surface articulaire du naviculaire pour le cunéiforme latéral (angle entre l'axe médio-latéral de la surface articulaire pour le cunéiforme latéral et la verticale) |
| NavmT | Torsion proximo-distale médiale du naviculaire (angle entre l'axe dorso-plantaire de la surface articulaire pour le cunéiforme médial et de la surface articulaire talaire) |
| NavIT | Torsion proximo-distale intermédiaire du naviculaire (angle entre l'axe dorso-plantaire de la surface articulaire pour le cunéiforme intermédiaire et de la surface articulaire talaire) |
| NavIT | Torsion proximo-distale latérale du naviculaire (angle entre l'axe dorso-plantaire de la surface articulaire pour le cunéiforme latérale et de la surface articulaire talaire) |
| Navml | Inclinaison médiale du naviculaire (angle entre l'axe dorso-plantaire de la surface articulaire pour le cunéiforme médial et la verticale) |
| Navil | Inclinaison médiale du naviculaire (angle entre l'axe dorso-plantaire de la surface articulaire pour le cunéiforme intermédiaire et la verticale) |
| Navll | Inclinaison médiale du naviculaire (angle entre l'axe dorso-plantaire de la surface articulaire pour le cunéiforme latéral et la verticale) |

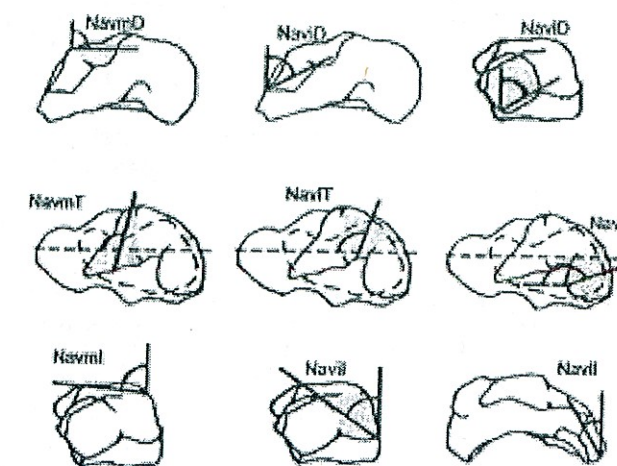


Tableau 1e: Liste et définitions des angles mesurés sur les os du tarse et de métatarse : les Cunéiformes (d'après Bérillon, 2000)

| | Définitions (Martin et al., 1957) |
|---------------|--|
| Cf1dD | Déclinaison dorsale de la surface articulaire pour le métatarsien du cunéiforme médial (angle entre l'axe médio-latéral dorsal de la surface articulaire pour le métatarsien I avec la verticale) |
| Cf1pD | Déclinaison plantaire de la surface articulaire pour le métatarsien du cunéiforme médial (angle entre l'axe médio-latéral plantaire de la surface articulaire pour le métatarsien I avec la verticale) |
| Cf1mD | Déclinaison moyenne de la surface articulaire du cunéiforme médial pour le métatarsien I $((Cf1dD + Cf1pD)/2)$ |
| Cf2D | Déclinaison de la surface articulaire pour le métatarsien II du cunéiforme intermédiaire (angle entre l'axe médio-latéral de la surface articulaire pour le métatarsien II avec la verticale) |
| Cf3D | Déclinaison de la surface articulaire pour le métatarsien III du cunéiforme latéral (angle entre l'axe médio-latéral de la surface articulaire pour le naviculaire avec la verticale) |
| Cf1I | Inclinaison de la surface articulaire du cunéiforme médial pour le métatarsien I (angle entre l'axe dorso-plantaire de la surface articulaire pour le métatarsien I et la verticale) |
| Cf2I | Inclinaison de la surface articulaire du cunéiforme intermédiaire pour le métatarsien I (angle entre l'axe dorso-plantaire de la surface articulaire pour le métatarsien II et la verticale) |
| Cf3I | Inclinaison de la surface articulaire du cunéiforme latéral pour le métatarsien III (angle entre l'axe dorso-plantaire de la surface articulaire pour le naviculaire et la verticale) |
| Cf3mID | Angle médio-latéral du cunéiforme latéral (angle entre le bord latéral et la bord médial du cunéiforme latéral) |
| Cf1T | Torsion proximo-distale du cunéiforme médial (angle entre les axes dorso-plantaires des surfaces articulaires naviculaire et métatarsiennes) |
| Cf2T | Torsion proximo-distale du cunéiforme intermédiaire (angle entre les axes dorso-plantaires des surfaces articulaires naviculaire et métatarsiennes) |
| Cf3T | Torsion proximo-distale du cunéiforme latéral (angle entre les axes dorso-plantaires des surfaces articulaires naviculaire et métatarsiennes) |

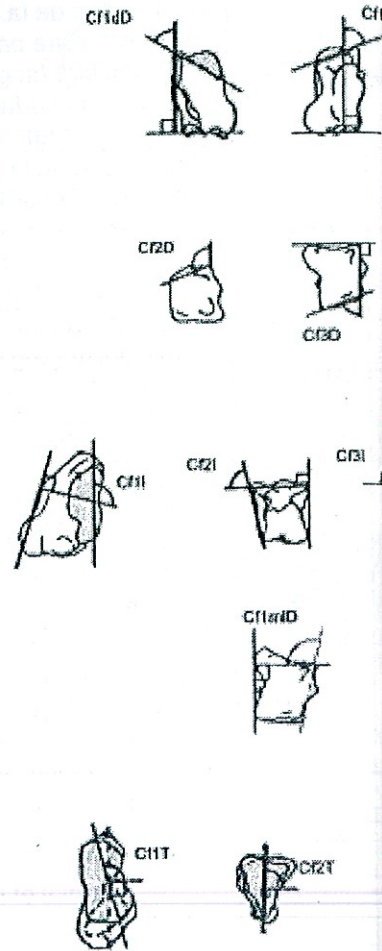
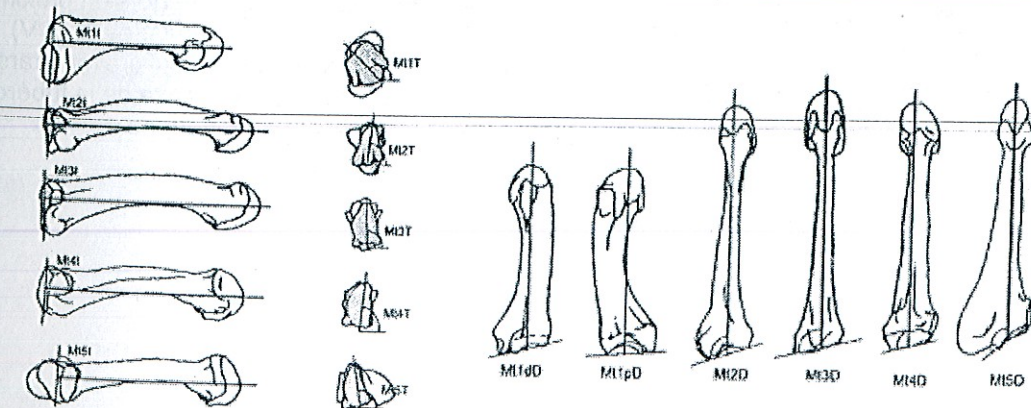


Tableau 1f: Liste et définitions des angles mesurés sur les os du tarse et du métatarse : les Métatarsiens (d'après Bérillon, 2000)

| | Définitions (Martin et al., 1957) |
|--------------|--|
| Mt1I | Inclinaison du métatarsien I (angle entre l'axe d'allongement de ce métatarsien et l'axe dorso-plantaire de sa surface articulaire proximale) |
| Mt2I | Inclinaison du métatarsien II (angle entre l'axe d'allongement de ce métatarsien et l'axe dorso-plantaire de sa surface articulaire proximale) |
| Mt3I | Inclinaison du métatarsien III (angle entre l'axe d'allongement de ce métatarsien et l'axe dorso-plantaire de sa surface articulaire proximale) |
| Mt4I | Inclinaison du métatarsien IV (angle entre l'axe d'allongement de ce métatarsien et l'axe dorso-plantaire de sa surface articulaire proximale) |
| Mt5I | Inclinaison du métatarsien V (angle entre l'axe d'allongement de ce métatarsien et l'axe dorso-plantaire de sa surface articulaire proximale) |
| Mt1dD | Déclinaison dorsale du métatarsien I (angle entre l'axe médio-latéral dorsal de la surface articulaire pour le cunéiforme médial avec l'axe d'allongement du métatarsien I) |
| Mt1pD | Déclinaison plantaire du métatarsien I (angle entre l'axe médio-latéral plantaire de la surface articulaire pour le cunéiforme médial avec l'axe d'allongement du métatarsien I) |
| Mt1mD | Déclinaison moyenne de la surface articulaire du métatarsien I pour le cunéiforme médial $((Mt1dD + Mt1pD)/2)$ |
| Mt2D | Déclinaison du métatarsien II (angle entre l'axe médio-latéral de la surface articulaire proximale avec l'axe d'allongement de ce métatarsien) |
| Mt3D | Déclinaison du métatarsien III (angle entre l'axe médio-latéral de la surface articulaire proximale avec l'axe d'allongement de ce métatarsien) |
| Mt4D | Déclinaison du métatarsien IV (angle entre l'axe médio-latéral de la surface articulaire proximale avec l'axe d'allongement de ce métatarsien) |
| Mt5D | Déclinaison du métatarsien V (angle entre l'axe médio-latéral de la surface articulaire proximale avec l'axe d'allongement de ce métatarsien) |
| Mt1T | Torsion proximo-distale du métatarsien I (angle entre l'axe dorso-plantaire de la tête avec l'axe dorso-plantaire de la surface articulaire proximale) |
| Mt2T | Torsion proximo-distale du métatarsien II (angle entre l'axe dorso-plantaire de la tête avec l'axe dorso-plantaire de la surface articulaire proximale) |
| Mt3T | Torsion proximo-distale du métatarsien III (angle entre l'axe dorso-plantaire de la tête avec l'axe dorso-plantaire de la surface articulaire proximale) |
| Mt4T | Torsion proximo-distale du métatarsien IV (angle entre l'axe dorso-plantaire de la tête avec l'axe dorso-plantaire de la surface articulaire proximale) |
| Mt5T | Torsion proximo-distale du métatarsien V (angle entre l'axe dorso-plantaire de la tête avec l'axe dorso-plantaire de la surface articulaire proximale) |



Des résultantes angulaires sont calculées (tableau 2), d'après des conventions, afin de mieux appréhender l'architecture du pied. Les angles ainsi calculés expliquent les relations angulaires de deux parties distantes d'une même colonne articulaire. Une résultante angulaire est appelée totale lorsqu'elle concerne la totalité de la colonne articulaire, et par conséquent partielle lorsqu'elle n'implique qu'une partie de celle-ci. Le codage de ces résultantes angulaires est le suivant (d'après Bérillon, 2000) : AC (colonne articulaire) 1-5 (numéro de la colonne articulaire) t/p (totale ou partielle) I/D/T (inclinaison ou déclinaison ou torsion).

Tableau 2 : Liste et définitions des résultantes angulaires (d'après Bérillon, 2000)

| | Définitions |
|---|--|
| Squelette médial (colonnes articulaires I, II et III) | |
| AC1mD = NavmD + Cf1mD + Mt1mD AC2tD = NavID + Cf2D + Mt2D AC3tD = NavID + Cf3D + Mt3D | Divergence moyenne du métatarsien I, et divergence des métatarsiens II et III par rapport à la surface articulaire talaire du naviculaire |
| AC1tl = Navml + Cf1l + Mt1l AC2tl = Navil + Cf2l + Mt2l AC3tl = Navil + Cf3l + Mt3l | Inclinaison des métatarsiens I, II et III par rapport à surface articulaire talaire du naviculaire (flexion de colonnes articulaires I, II et III) |
| AC1tT = TalHT + NavmT + Cf1T + Mt1T AC2tT = TalHT + NavIT + Cf2T + Mt2T AC3tT = TalHT + NavIT + Cf3T + Mt3T | Inclinaison de la tête des métatarsiens I, II et III par rapport au plan trochléen (torsion proximo-distale de colonnes articulaires I, II et III) |
| AC1pT = TalHT + NavmT + Cf1T AC2pT = TalHT + NavIT + Cf2T AC3pT = TalHT + NavIT + Cf3T | Inclinaison de la surface articulaire métatarsienne des cunéiformes par rapport au plan trochléen |
| Squelette latéral (colonnes articulaires IV et V) | |
| AC4tD = CalCuD + Cub4D + Mt4D AC5tD = CalCuD + Cub5D + Mt5D | Divergence des métatarsiens IV et V par rapport à l'axe d'allongement du calcanéum |
| AC4pD = Cub4D + Mt4D AC5pD = Cub5D + Mt5D | Divergence des métatarsiens IV et V par rapport à l'articulation calcanéo-cuboïdienne |
| AC4tl = CalCul + Cub4l + Mt4l AC5tl = CalCul + Cub5l + Mt5l | Inclinaison des métatarsiens IV et V par rapport à l'axe d'allongement du calcanéum (flexion des colonnes articulaires IV et V) |
| AC4pl = Cub4l + Mt4l AC5pl = Cub5l + Mt5l | Inclinaison des métatarsiens IV et V par rapport à l'articulation calcanéo-cuboïdienne |
| AC4tT = CalTI + CubT + Mt4T AC5tT = CalTI + CubT + Mt5T | Inclinaison de la tête du calcanéum par rapport à l'axe de la tubérosité calcanéenne (torsion proximo-distale des colonnes articulaires IV et V) |
| AC4/5pT = CalTI + CubT | Inclinaison de la surface articulaire métatarsienne cuboïde par rapport à l'axe de la tubérosité calcanéenne |

V – Le complexe tarso-métatarsien droit de La Ferrassie 2

Nous avons isolé virtuellement tous les os constitutifs du pied droit de La Ferrassie 2. Ceci nous permet donc à présent de les décrire pour la première fois, tout en ayant respecté et conservé le fossile original dans sa gangue de sédiments.

1 - L'analyse des os isolés du spécimen La Ferrassie 2 :

a) Talus (figure 11):

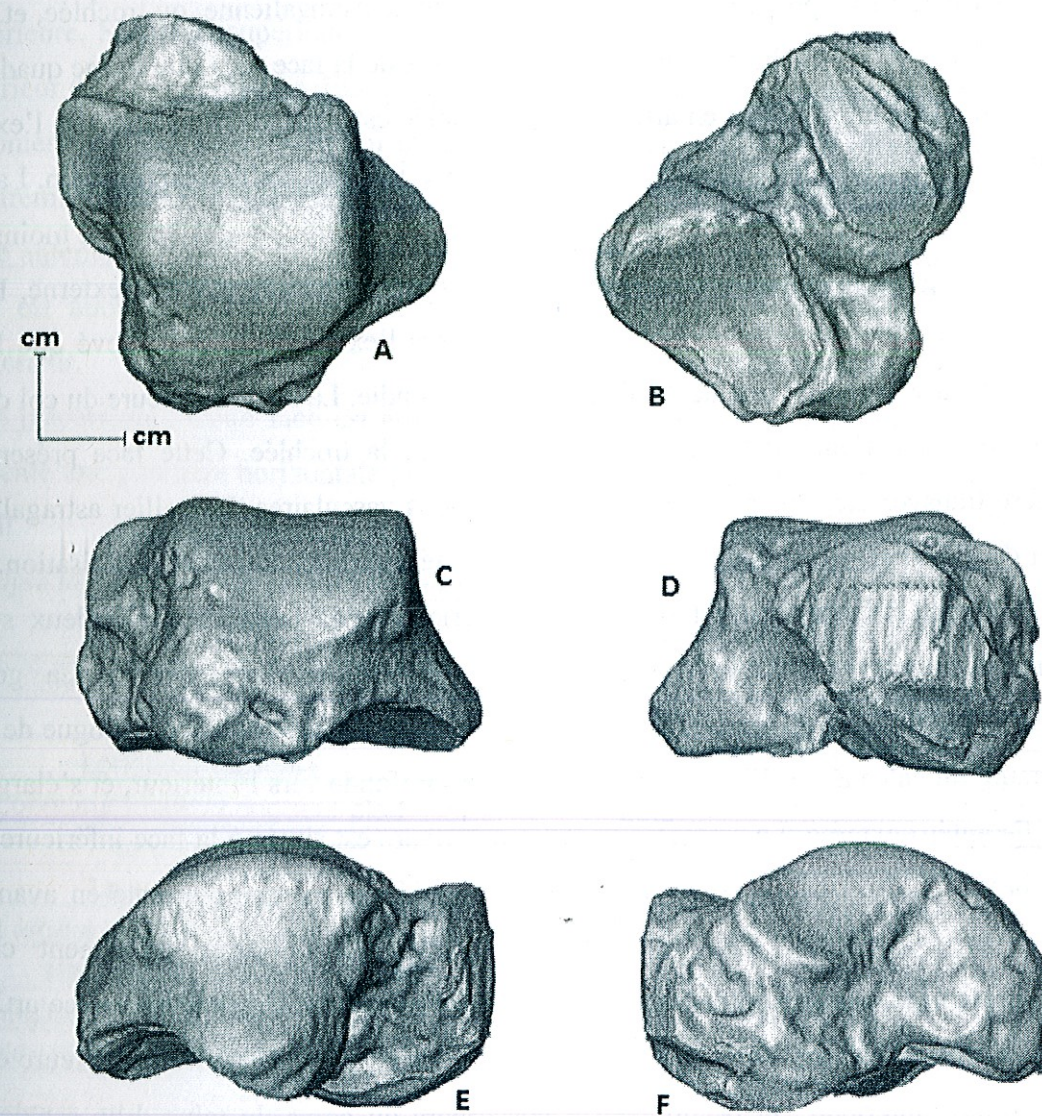


Figure 11 : Talus (A : vue supérieure ; B : vue inférieure ; C : vue postérieure ; D : vue antérieure ; E : vue latérale ; F : vue médiale)

Etude morphologique :

Le talus est très bien conservé ; seule la partie antérieure de la tête est légèrement endommagée. Les surfaces articulaires calcanéennes postérieure et antéro-moyenne sont parfaitement visibles. Néanmoins, la surface articulaire naviculaire ne semble pas complètement définie, de par la détérioration de la tête du talus. La description anatomique portera dans l'ordre sur les six faces du talus.

Face supérieure : Elle présente deux segments ; la poulie astragaliennne, ou trochlée, et la face supérieure du col. La trochlée occupe les $\frac{3}{4}$ postérieurs de la face, et a une forme quadrilatère qui est plus large en avant qu'en arrière. Cette trochlée est légèrement concave de l'extérieur vers l'intérieur, et très convexe d'avant en arrière, décrivant un arc de 130° environ. La face a une joue externe, la plus haute et la plus large, une joue interne, moins haute et moins large ainsi qu'une gorge médiane bien que plus proche du bord interne que de l'externe. Elle est limitée par un bord externe oblique en avant et vers l'extérieur, et plus élevé que le bord interne, et par un bord interne de forme mousse et arrondie. La face supérieure du col du talus occupe le $\frac{1}{4}$ antérieur du talus, qui est en avant de la trochlée. Cette face présente une gouttière transversale, où sont présents quelques trous vasculaires. Le collier astragalien (ou collier de Farabeuf) est absent car la tête du talus a été détériorée durant la fossilisation.

Face inférieure : Cette face est plus large en arrière qu'en avant, et porte deux surfaces articulaires, avec le calcanéum, séparées par la gouttière astragaliennne. La gouttière astragaliennne forme le plafond du sinus du tarse répondant à une gouttière analogue de la face supérieure du calcanéum. Elle est de plus étroite et profonde vers l'intérieur, et s'élargit dans sa partie antéro-externe. La surface articulaire antérieure est située à la face inférieure du col et de la tête. Cette surface est ovalaire, dont le grand axe oblique s'oriente en avant et en dedans, et est rétrécie dans sa partie antérieure. Elle est très faiblement convexe transversalement, et convexe suivant son grand axe. Elle s'articule avec la surface articulaire antéro-interne de la face supérieure du calcanéum. La surface articulaire postérieure est plus grande que l'antérieure, et occupe les $\frac{3}{4}$ postérieurs du corps du talus. Elle est de forme ovoïde avec une grosse extrémité antéro-externe, et son grand axe est oblique en avant et vers l'extérieur. Cette surface est plane selon son axe transversal, et très concave selon son grand axe. Elle s'articule avec la surface postéro-interne de la face supérieure du calcanéum.

Face interne : Cette face est haute dans sa partie moyenne et présente trois segments ; la facette péronière, une gouttière et une petite fossette. La facette péronière occupe les $\frac{2}{3}$ postérieurs de cette face. Elle est triangulaire, avec une base supérieure répondant au bord externe de la trochlée, un bord antérieur oblique en haut et en avant, presque vertical, et un

bord postérieur oblique en bas et en avant, presque horizontal. Cette face est plane d'avant en arrière, mais très concave de haut en bas. Une gouttière rugueuse suit le bord postérieur de la facette péronière. Enfin, juste en avant du bord antérieur de la facette péronière, et dans la partie supérieure, se trouve une petite fossette.

Face interne : Cette face est moins haute que la face externe, et présente deux segments ; la facette tibiale et la face interne du col. La facette tibiale occupe la partie supérieure du corps du talus. Elle est en forme de virgule et couchée horizontalement, avec une grosse extrémité antérieure. Son bord supérieur, convexe, répond au bord interne de la trochlée, et son bord inférieur est concave en bas. Elle est plane et placée dans un plan plus antérieur que la facette péronière. La face interne du col du talus est située en avant de la facette tibiale, et porte l'extrémité interne du collier astragalien.

Face antérieure (ou tête du talus) : Cette tête est détériorée au niveau du collier astragalien. Elle est allongée transversalement à son grand axe, qui lui est oblique en bas et vers l'intérieur.

Face postérieure : Cette face est étroite, mais il s'agit plus d'un bord que d'une face. Elle présente une gouttière horizontale profonde, où passe le tendon du fléchisseur propre au gros orteil.

Analyse des dimensions générales (tableau 3):

Tableau 3 : Dimensions et indices des talus droit et gauche de La Ferrassie 2

| TALUS | Valeurs LF2 (droit) [mm] | Valeurs LF2 (gauche) [mm] |
|---|--------------------------|---------------------------|
| Longueur totale | 50,1 | 49,3 |
| Longueur sagittale | 46,1 | 43 |
| Longueur totale / Longueur pied | 25,3 | 21,7 |
| Largeur totale | 39,2 | 37,4 |
| Largeur médiane | 32,3 | 27,5 |
| Largeur totale / Longueur totale | 78,2 | 87,1 |
| Hauteur au bord interne | 26,1 | 23,1 |
| Hauteur à la gorge de la trochlée | 22,9 | 20,3 |
| Hauteur bord interne / Longueur totale | 52,1 | 53,7 |
| TROCHLEE | | |
| Longueur axiale | 34,4 | 29,1 |
| Longueur axiale / Longueur totale talus | 68,7 | 67,6 |
| Largeur médiane | 29,6 | 23,3 |
| Largeur antérieure | 36,2 | 28,1 |
| Largeur postérieure | 28,1 | 21 |
| Largeur médiane / Longueur axiale | 86,1 | 80,2 |
| Hauteur au bord interne (Hi) | 23,6 | 22,3 |
| Hauteur au bord externe (He) | 23,1 | 19,3 |

| TETE | | |
|-----------------------------|------|------|
| Longueur du grand axe | 29,2 | 28.4 |
| Diamètre transverse maximum | 24,7 | 24.7 |

b) Calcanéum (figure 12) :

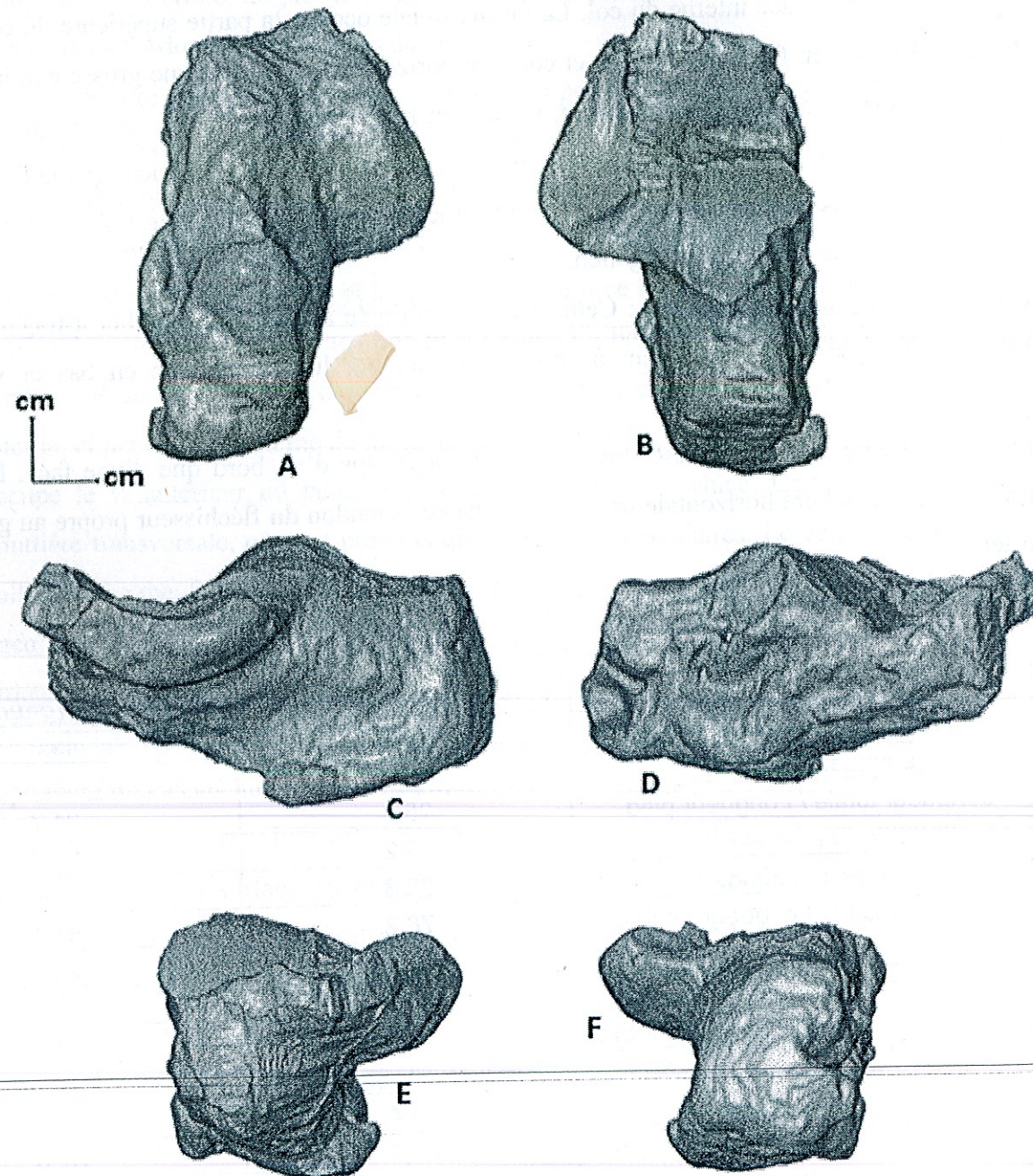


Figure 12 : Calcanéum (A : vue inférieure ; B : vue supérieure ; C : vue latérale ; D : vue médiale ; E : vue antérieure ; F : vue postérieure)

Etude morphologique :

La conservation du calcanéum est très bonne ; seules les faces supérieure, latérale et médiale ont perdu un peu de leur substance. Toutes les surfaces articulaires sont parfaitement visibles et définies. La description anatomique portera dans l'ordre sur les six faces du calcanéum.

Face supérieure : Cette face présente deux segments ; l'antérieur et le postérieur. Le segment antérieur occupe les 2/3 antérieurs de cette face. Il est plus long que large, et est prolongé en avant et en dedans par la petite apophyse du calcanéum (ou sustentaculum tali). Ce segment présente deux surfaces articulaires séparées par la gouttière calcanéenne : la surface articulaire antéro-interne et la postéro-externe. La surface articulaire antéro-interne repose sur la petite apophyse dans sa plus grande partie, et sur la grande apophyse dans sa partie toute antérieure. Elle est longue et étroite, en forme de semelle, et est étranglée dans sa partie antérieure. Son grand axe est oblique en haut et vers l'intérieur, et concave dans tous les sens. Elle s'articule avec la surface articulaire de la face inférieure du talus. La surface articulaire postéro-externe est plus grande, large et de forme ovalaire, dont le grand axe est oblique en avant et vers l'extérieur. Elle est convexe dans tous les sens, mais plus particulièrement selon son grand axe ; sa partie postérieure est inclinée en bas et en arrière, sa partie antérieure est fortement inclinée en bas et en avant. Elle s'articule avec la surface postérieure de la face inférieure du talus et constitue la véritable surface d'appui du talus. La gouttière calcanéenne est comprise entre les deux surfaces articulaires, et est oblique en arrière et vers l'extérieur. Elle est profonde et étroite dans sa moitié postéro-interne, et s'élargit fortement dans sa partie antéro-externe. Elle forme le plancher du sinus du tarse et répond à la gouttière analogue de la face inférieure du talus. Le segment postérieur est étroit et allongé d'avant en arrière. Il est convexe transversalement, faiblement concave d'avant en arrière, et répond aux mouvements du tendon d'Achille.

Face externe : Cette face est haute dans ses 2/3 postérieurs, et étroite dans son 1/3 antérieur. Elle présente le tubercule des péroniers latéraux, situé là où se rejoignent les 2/3 postérieurs et le 1/3 antérieur de cette face, et immédiatement au-dessous de l'orifice du sinus du tarse. Il sépare deux gouttières : l'antéro-supérieure, où glisse le tendon du court péronier latéral, et la postéro-inférieure, où glisse le tendon du long péronier latéral.

Face interne : Cette face est plus haute au milieu qu'en avant et en arrière. Elle abrite le canal calcanéen, qui est large et oblique en bas et en avant. De plus, la petite apophyse du calcanéum (ou sustentaculum tali) se détache au niveau antéro-supérieur, là où se rejoignent les faces interne et supérieure. Cette apophyse est volumineuse, concave et plus large en

arrière qu'en avant. Celle-ci est composée de deux faces : une face supérieure supportant la surface articulaire antéro-interne de la face supérieure du calcanéum, et une face inférieure limitant en haut et en avant le canal calcanéen où glisse le tendon du fléchisseur propre au gros orteil.

Face inférieure : Cette face est large en avant, et étroite en arrière. Elle est convexe transversalement et d'avant en arrière. Elle porte trois tubérosités : deux postérieures et une antérieure. En arrière, les deux tubérosités postérieures sont les points d'appui sur le sol. Elles sont convexes, triangulaires à sommets antérieurs et séparées en avant par une échancrure peu marquée. La tubérosité postéro-interne est la plus volumineuse, et la tubérosité postéro-externe est trois fois et demie plus petite. En avant, la tubérosité antérieure est convexe et correspond à l'insertion du ligament calcanéocuboïdien. Néanmoins, sa partie antéro-interne est un peu détériorée. Entre ces deux tubérosités, la face présente est étroite, convexe transversalement et plane d'avant en arrière.

Face antérieure : La partie antérieure de la grande apophyse est détériorée. Néanmoins, sa forme est triangulaire et convexe transversalement. Son bord supérieur forme une saillie horizontale, correspondant au bec (ou rostre) du calcanéum. Son bord interne est rectiligne et très oblique en bas et en dehors.

Face postérieure : Cette face forme la saillie du talon, et est étroite en haut, et large en bas. Elle est orientée en arrière et vers l'intérieur. Elle est légèrement convexe de haut en bas et transversalement. Sa partie inférieure est oblique en bas et en avant, et se poursuit sans démarcation avec les tubérosités postérieures.

Analyse des dimensions générales (tableau 4) :

Tableau 4 : Dimensions et indices des calcanéums droit et gauche de La Ferrassie 2 et de leur talon

| CALCANEUM | Valeurs LF2 (droit) [mm] | Valeurs LF2 (gauche) [mm] |
|--|--------------------------|---------------------------|
| Longueur maximale | 73.6 | 71.6 |
| Longueur axiale | 65.9 | 66.3 |
| Longueur max / Longueur pied | 37.2 | 36.2 |
| Largeur médiane | 24.4 | 24.8 |
| Indice de largeur médiane (Largeur médiane / Longueur max) | 33.2 | 34.6 |
| Hauteur | 34,2 | 34.3 |
| Indice de hauteur (Hauteur / Longueur max) | 46.5 | 47.9 |
| TALON | | |
| Longueur | 32.9 | 32,4 |
| Indice de Longueur (Longueur / Longueur max) | 44.7 | 45.3 |
| Largeur minimale | 22.6 | 24.7 |

| | | |
|---------------------------------|------|------|
| Largeur minimale / Longueur max | 30.7 | 34.5 |
| Hauteur minimale | 33.2 | 33.8 |
| Hauteur minimale / Longueur max | 45.1 | 47.2 |

c) Cuboïde (figure 13) :

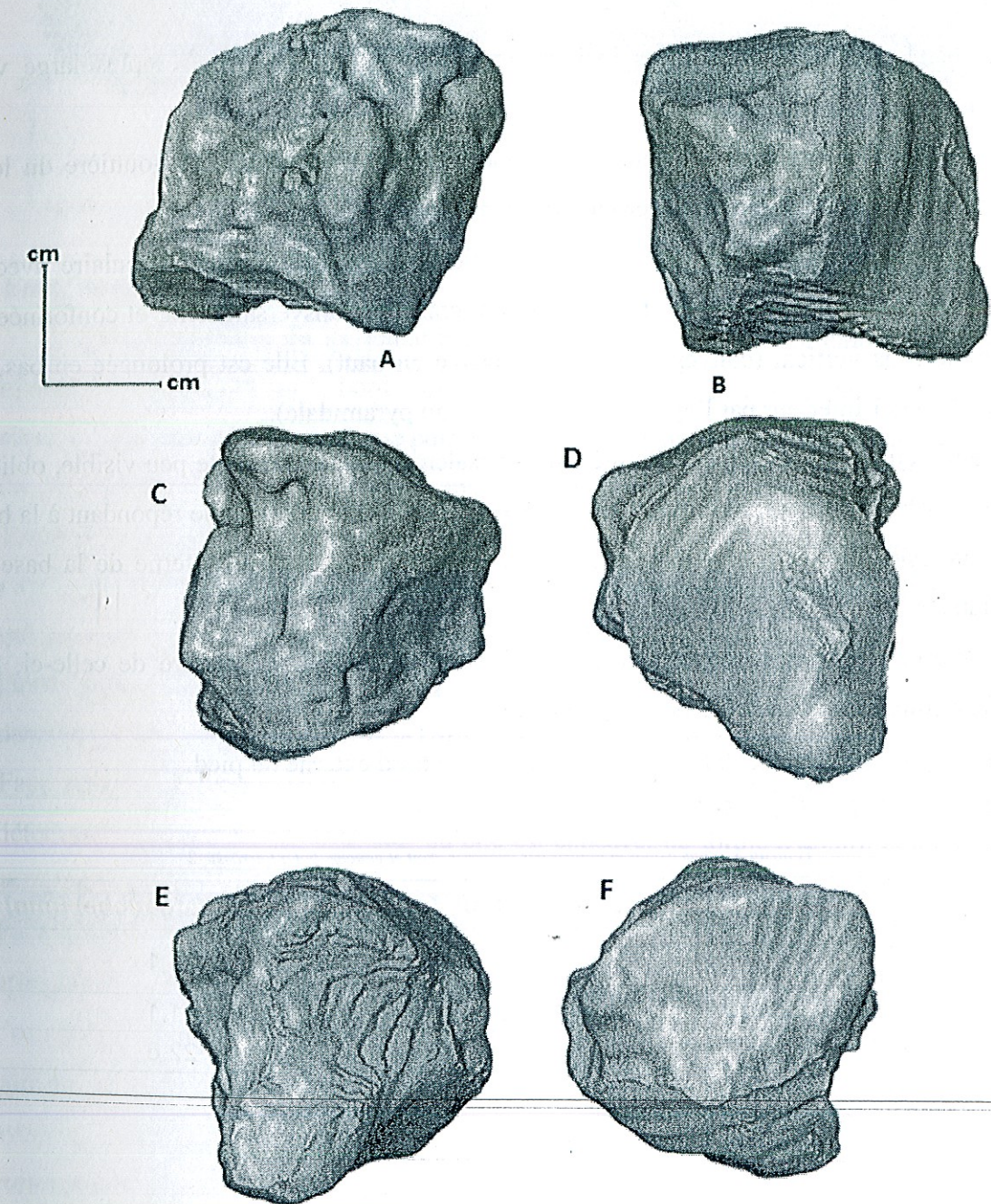


Figure 13 : Cuboïde (A : vue médiale ; B : vue latérale ; C : vue dorsale ; D : vue plantaire ; E : vue postérieure ; F : vue antérieure)

Etude morphologique :

La conservation du cuboïde est assez bonne. Néanmoins, les surfaces articulaires pour le cunéiforme latéral ainsi que pour le naviculaire, sur la face médiale du cuboïde, sont visibles mais pas précisément définissables ni délimitables. De même, en vue plantaire, sont

présents le sillon du tendon du muscle long fibulaire et la tubérosité de l'os cuboïde qui correspond à un épaississement osseux oblique en forme de bourrelet. Néanmoins, ces deux éléments ne sont pas complètement visibles, puisqu'une partie de cet os selon cette vue semble être endommagée. La description anatomique portera dans l'ordre sur les six faces du cuboïde.

Face dorsale : Cette face est très inclinée en bas et vers l'extérieur, et plus large vers l'intérieur que vers l'intérieur.

Face plantaire : Cette face est détériorée, donc la crête du cuboïde, la gouttière du long fibulaire ainsi que l'apophyse postéro interne sont absentes.

Face postérieure : Cette face est occupée entièrement par une surface articulaire avec la grande apophyse du calcaneum, et est faiblement concave transversalement, et conformée en S dans le sens vertical (convexe en bas et concave en haut). Elle est prolongée en bas, en arrière et vers l'intérieur par l'apophyse coronoïde (ou pyramidale).

Face antérieure : Cette face est allongée transversalement, avec une crête peu visible, oblique en bas et vers l'intérieur, qui divise deux facettes articulaires : une interne répondant à la base du métatarsien IV, et une externe plus grande répondant à la partie interne de la base du métatarsien V.

Face interne : Sa partie moyenne n'est pas définie nettement. En arrière de celle-ci, une facette étroite est articulaire avec le naviculaire.

Bord externe : Ce bord est très court, et fait partie du bord externe du pied.

Analyse des dimensions générales (tableau 5) :

Tableau 5 : Dimensions et indices des cuboïdes droit et gauche de La Ferrassie 2

| CUBOÏDE | Valeurs LF2 (droit) [mm] | Valeurs LF2 (gauche) [mm] |
|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Longueur maximale de la face interne | 28,8 | 25,1 |
| Longueur du bord externe | 13,2 | 11,1 |
| Indice | 21,8 | 22,6 |

d) Naviculaire (figure 14) :

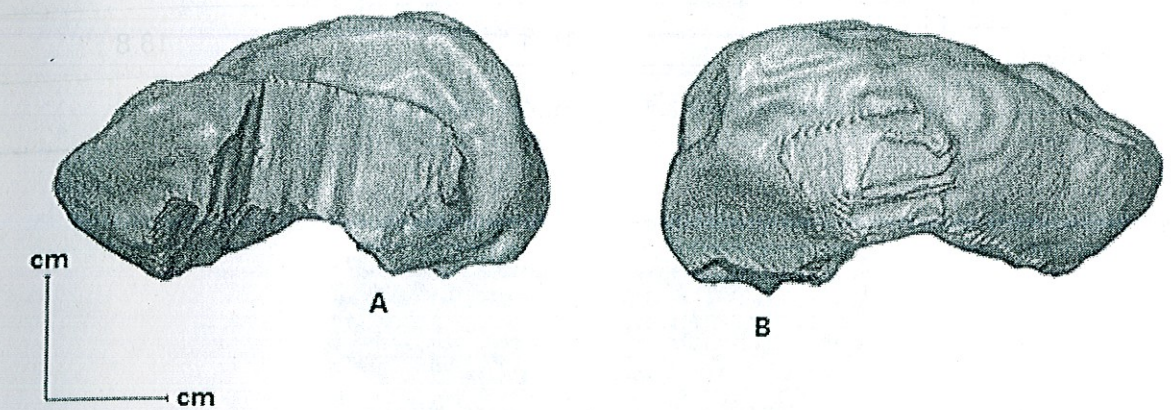


Figure 14 : Naviculaire (A : vue postérieure ; B : vue antérieure)

Etude morphologique :

La conservation du naviculaire est assez mauvaise ; il est fortement endommagé au niveau du tubercule et sur le bord dorsal. Les surfaces articulaires pour les trois cunéiformes, situées sur la face distale, ainsi que pour le talus et le calcaneum, situées sur la face proximale du naviculaire, sont assez visibles mais pas précisément définissables ni délimitables. Toutefois, malgré la détérioration du tubercule, on peut s'apercevoir que celui-ci est particulièrement volumineux. Ceci correspond à la prédominance du muscle tibial postérieur, qui favorise fortement la marche bipède ainsi que les mouvements d'extension du pied sur la jambe dans un premier temps, et ceux d'adduction et d'abduction dans un second temps. La description anatomique portera dans l'ordre sur les deux faces du naviculaire.

Face postérieure : Cette face est articulaire avec la tête du talus. Sa partie moyenne est détériorée. Néanmoins, on peut voir qu'elle est concave, de forme ovale et allongée selon son grand axe.

Face antérieure : Cette face est convexe et réniforme. Elle est subdivisée en trois facettes articulaires avec les cunéiformes, par deux crêtes qui convergent vers le bord inférieur de l'os : les facettes interne, moyenne et externe. La facette interne est la plus large, faiblement convexe et s'articule avec le cunéiforme médial. La facette moyenne est convexe et s'articule avec le cunéiforme intermédiaire. Enfin, la facette externe est la plus petite, faiblement concave et s'articule avec le cunéiforme latéral.

Analyse des dimensions générales (tableau 6) :

Tableau 6 : Dimensions et indices des naviculaires droit et gauche de La Ferrassie 2

| NAVICULAIRE | Valeurs LF2 (droit) [mm] | Valeurs LF2 (gauche) [mm] |
|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Largeur | 20,9 | 20,9 |
| Hauteur | 11,8 | 11,7 |
| Indice Hauteur / Largeur | 56,5 | 56,1 |

| | | |
|---|------|------|
| Epaisseur externe (facette cunéiforme latéral) | 7.4 | 7.1 |
| Epaisseur interne (facette cunéiforme médial) | 18.8 | 18.8 |
| Indice d'épaisseur (Ep ext / Ep int) | 39.4 | 37.8 |

e) Cunéiformes :

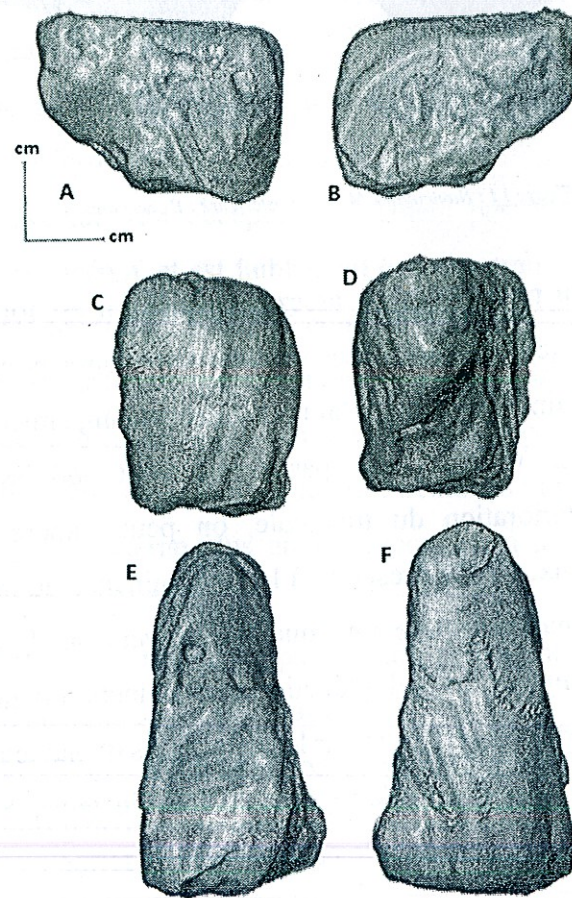


Figure 15 : Cunéiforme médial (A : vue médiale ; B : vue latérale ; C : vue dorsale ; D : vue plantaire ; E : vue postérieure ; F : vue antérieure)

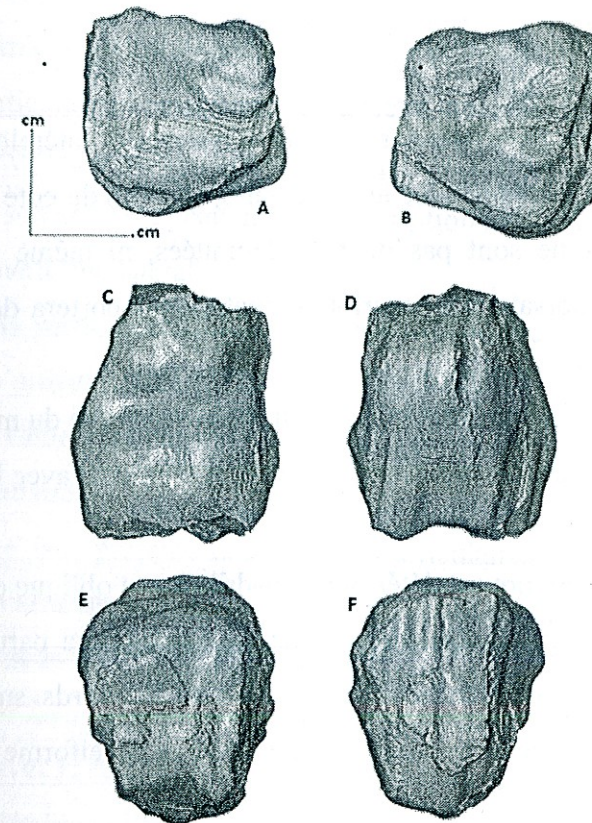


Figure 16 : Cunéiforme intermédiaire (A : vue latérale ; B : vue médiale ; C : vue dorsale ; D : vue plantaire ; E : postérieure ; F : vue antérieure)

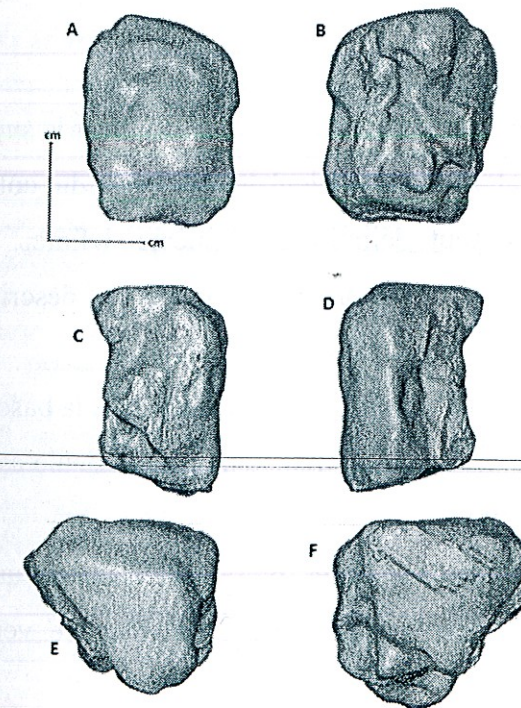


Figure 17 : Cunéiforme latéral (A : vue médiale ; B : vue latérale)

Etude morphologique :

Cunéiforme médial (figure 15) :

Le premier cunéiforme est détérioré sur ses faces inférieure, latérale et distale. Ainsi, la surface articulaire du côté proximal avec le naviculaire, et celles du côté distal avec le premier et le second métatarsiens ne sont pas du tout délimitées, ni même définies. Sa base est plantaire et son arête est dorsale. La description anatomique portera dans l'ordre sur les six faces du cunéiforme médial.

Face antérieure : Cette face est réniforme et articulaire avec la base du métatarsien I.

Face postérieure : Cette face est ovoïde, très concave, et s'articule avec la facette interne de la face antérieure du naviculaire.

Face interne : Sa partie inférieure est détériorée, quadrilatère et oblique en bas et en arrière.

Face externe : Sa partie la plus inférieure est détériorée. Dans sa partie postéro-supérieure une surface articulaire disposée en équerre et longeant les bords supérieur et postérieur s'articule avec la base du métatarsien II en avant, et avec le cunéiforme intermédiaire sur tout le reste de son étendue.

Face plantaire (ou base) : Toute cette face est détériorée, donc le tubercule qui devrait s'y trouver n'y est pas visible. Néanmoins, cette face est quadrilatère.

Bord supérieur (ou arête) : Ce bord est plus net et tranchant dans le 1/3 antérieur mais absent dans les 2/3 postérieurs.

Cunéiforme intermédiaire (figure 16) :

Le second cunéiforme est détérioré sur toutes ses faces sauf sur la supérieure. Ainsi, la surface articulaire du côté proximal avec le naviculaire, et celle du côté distal avec le second métatarsien ne sont pas du tout délimitées, ni même définies. C'est le plus petit des cunéiformes. Sa base est dorsale et son arête est plantaire. La description anatomique portera dans l'ordre sur les six faces du cunéiforme intermédiaire.

Face antérieure : Cette face est détériorée. Elle s'articule avec la base du métatarsien II.

Face postérieure : Cette face est concave, triangulaire et s'articule avec la facette moyenne de la face antérieure du naviculaire.

Faces interne et externe : Ces deux faces présentent chacune une surface articulaire en équerre ; postéro-supérieure pour la face interne, et allongée verticalement pour la face externe, qui ne sont toutes deux que faiblement visibles.

Face supérieure (ou base) : Cette face est quadrilatère.

Bord inférieur (ou arête) : Toute la face de ce bord est détériorée et encastrée entre les deux cunéiformes.

Cunéiforme latéral (figure 17) :

Le troisième et dernier cunéiforme est détérioré sur toutes ses faces sauf sur la supérieure.

Ainsi, la surface articulaire du côté proximal avec le naviculaire, et celles du côté distal avec le deuxième et le troisième métatarsiens ne sont pas du tout délimitées, ni même définies. Sa base est dorsale et son arête est plantaire. La description anatomique portera dans l'ordre sur les six faces du cunéiforme latéral.

Face antérieure : Sa partie inférieure, au niveau de la pointe triangulaire, est détériorée. Elle est triangulaire et s'articule avec la base du métatarsien III.

Face postérieure : Cette face est triangulaire et s'articule avec la facette externe de la face antérieure du naviculaire.

Face interne : Cette face présente deux facettes articulaires : la postéro-supérieure allongée verticalement qui s'articule avec le cunéiforme intermédiaire, et l'antéro-supérieure petite et ovale qui s'articule avec le métatarsien II.

Face externe : Cette face présente deux surfaces articulaires : la postéro-supérieure en forme de S qui s'articule avec le cuboïde, et l'antéro-supérieure qui s'articule avec le métatarsien IV, mais qui n'est pas très bien visible.

Face supérieure (ou base) : Cette face est quadrilatère et inclinée en bas et vers l'extérieur.

Bord inférieur (ou arête) : Ce bord est détérioré et renflé en un tubercule à sa partie postérieure.

Analyse des dimensions générales (tableau 7) :

Tableau 7 : Dimensions et indices des cunéiformes (médiaux, intermédiaires et latéraux) droit et gauche de La Ferrassie 2

| CUNEIFORMES | Valeurs LF2 (droit) [mm] | Valeurs LF2 (gauche) [mm] |
|--|--------------------------|---------------------------|
| Cunéiforme médial | | |
| Longueur au bord supérieur | 28.7 | 26.3 |
| Longueur au bord supérieur / Longueur pied | 14.5 | 13.3 |
| Hauteur antérieure (épaisseur articulation distale) | 8.5 | 8.1 |
| Hauteur postérieure (épaisseur articulation proximale) | 12,3 | 12,1 |
| Indice d'épaisseur distale (Hauteur anté / Longueur au bord sup) | 29.6 | 30.8 |
| Indice de développement distal (Hauteur anté / Hauteur post) | 69.1 | 66.9 |
| Cunéiforme intermédiaire | | |
| Longueur maximale | 23,3 | 19,9 |
| Largeur au milieu | 12,8 | 13,2 |
| Largeur distale | 9,4 | 13,6 |
| Largeur proximale | 11,9 | 13,6 |

| | | |
|---------------------------------------|------|-------|
| Longueur max / Longueur pied | 11,8 | 10 |
| Largeur au milieu / Longueur max | 54,9 | 66,5 |
| Largeur distale / Largeur proximale | 79 | 100,2 |
| Cunéiforme latéral | | |
| Longueur maximale | 24,7 | 24,3 |
| Largeur au milieu | 11,6 | 16,1 |
| Longueur maximale / Longueur pied | 12,5 | 12,3 |
| Largeur au milieu / Longueur maximale | 47 | 66,2 |

f) Métatarsiens :

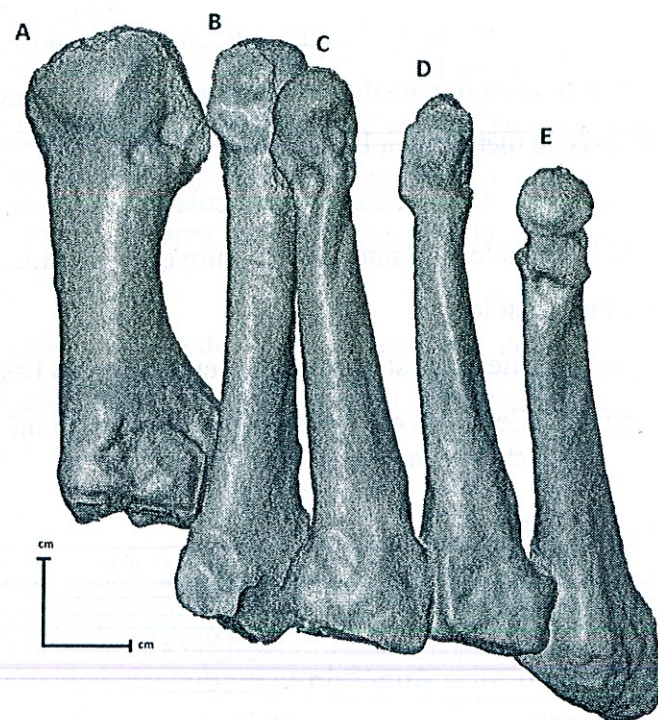


Figure 18 : Vue dorsale des métatarsiens (A : premier métatarsien ; B : second métatarsien ; C : troisième métatarsien ; D : quatrième métatarsien et E : cinquième métatarsien)

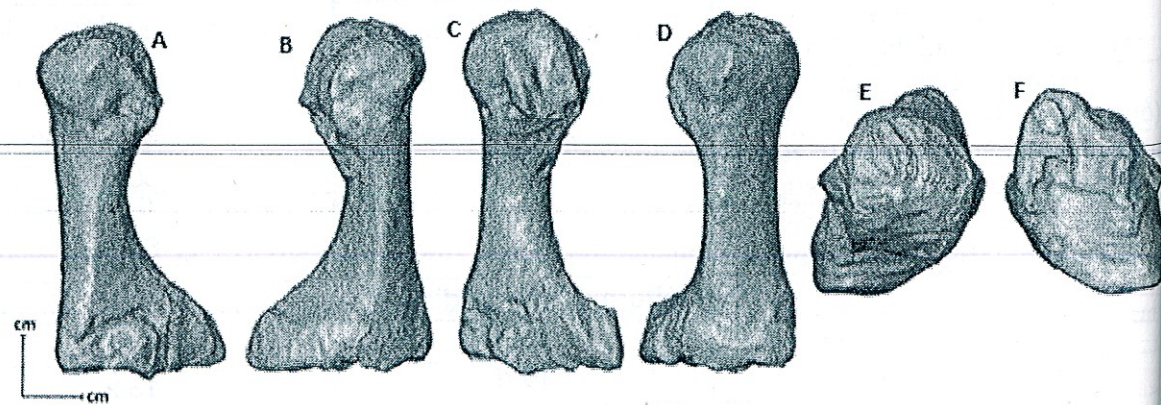


Figure 19 : Métatarsien I (A : vue dorsale ; B : vue plantaire ; C : vue latérale ; D : vue médiale ; E : vue antérieure ; F : vue postérieure)

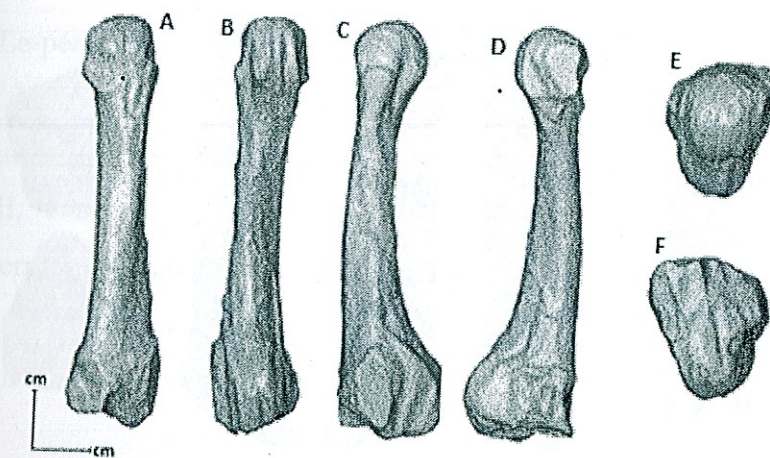


Figure 20 : Métatarsien II (A : vue dorsale ; B : vue plantaire ; C : vue latérale ; D : vue médiale ; E : vue antérieure ; F : vue postérieure)

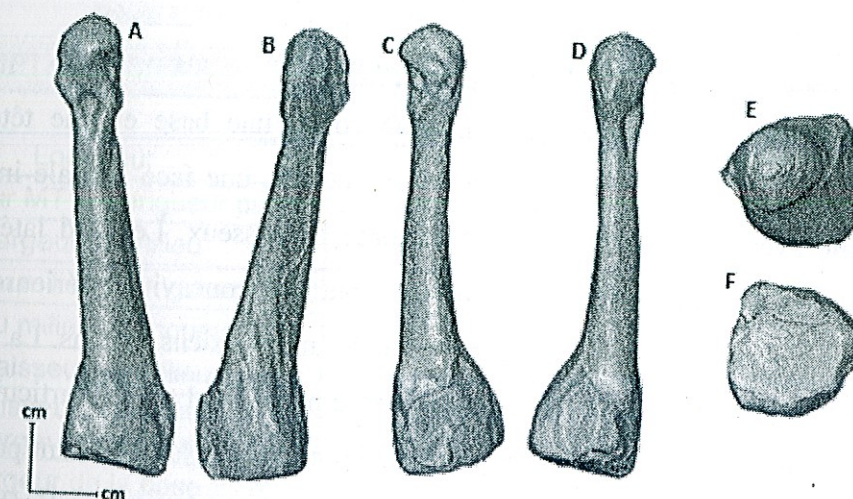


Figure 21 : Métatarsien III (A : vue dorsale ; B : vue plantaire ; C : vue latérale ; D : vue médiale ; E : vue antérieure ; F : vue postérieure)

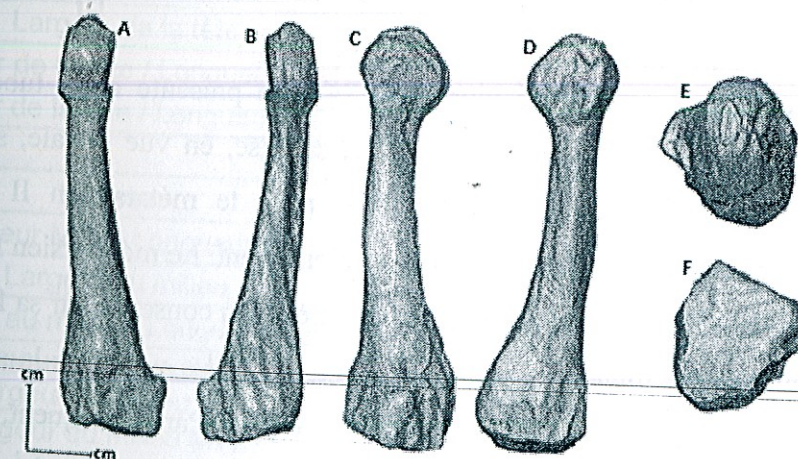


Figure 22 : Métatarsien IV (A : vue dorsale ; B : vue plantaire ; C : vue latérale ; D : vue médiale ; E : vue antérieure ; F : vue postérieure)

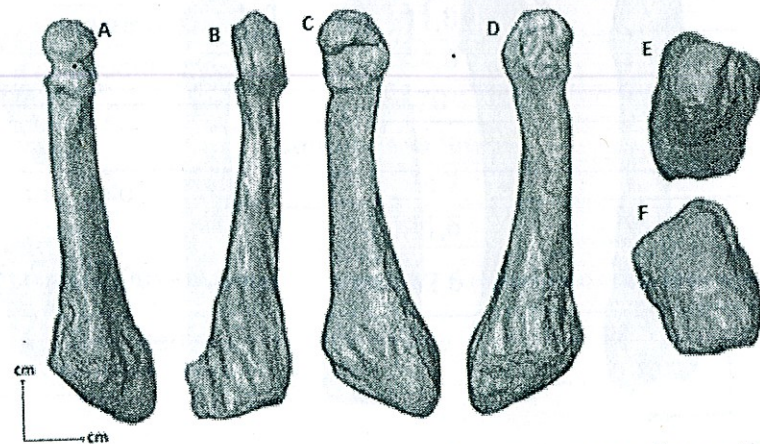


Figure 23 : Métatarsien V (A : vue dorsale ; B : vue plantaire ; C : vue latérale ; D : vue médiale ; E : vue antérieure ; F : vue postérieure)

Etude morphologique :

Chaque métatarsien (figures 18, 19, 20, 21, 22 et 23):

Ces os longs et non symétriques présentent un corps, une base et une tête. Les corps prismatiques et triangulaires, ont une face dorsale étroite, une face latérale inclinée vers la plante et limite avec le métatarsien voisin l'espace interosseux. Le bord latéral est dorsal interne et externe. Le bord inférieur est mince, courbe à concavité inférieure. La base est volumineuse et s'articule avec le tarse antérieur et les métatarsiens voisins. La tête est aplatie transversalement, très convexe et déborde sur la face plantaire. La tête s'articule avec la base des phalanges. Les surfaces articulaires sont limitées en haut et latéralement par un sillon qui aboutit à deux tubercules latéraux, visibles seulement sur les métatarsiens II, III et V, puisque les autres ont leur tête détériorées.

Caractères particuliers :

Le métatarsien I est le plus court et le plus gros. Sa base présente deux tubercules très saillants ; l'interne et l'externe. Néanmoins, sa tête et sa base, en vue distale, sont un peu détériorées. Par conséquent, les surfaces articulaires pour le métatarsien II et pour le cunéiforme médial sont visibles, mais pas délimitées précisément. Le métatarsien II est le plus long. Ce métatarsien du pied droit de La Ferrassie 2 est très bien conservé sur sa face dorsale mais un peu endommagé sur toutes ses autres faces. En effet, il a perdu de la substance étant directement en contact avec le sédiment entourant le pied. Par conséquent, les surfaces articulaires pour les métatarsiens I, III et pour les cunéiformes intermédiaire et médial sont visibles, mais pas délimitées précisément. Le métatarsien III du pied droit de La Ferrassie 2 est très bien conservé sur sa face dorsale, mais un peu endommagé sur toutes ses autres faces bien que sa tête soit très bien identifiable. Par conséquent, les surfaces articulaires pour les métatarsiens II, IV et pour le cunéiforme latéral sont visibles, mais pas délimitées précisément. La base du métatarsien IV présente, en dehors, en arrière et en bas, une apophyse

volumineuse. Le péronier antérieur s'insère sur sa face dorsale. Le quatrième métatarsien du pied droit de La Ferrassie 2 est très bien conservé sur sa face dorsale, mais un peu endommagé sur toutes ses autres faces. Par conséquent, les surfaces articulaires pour les métatarsiens III, V et pour le cuboïde sont visibles, mais pas délimitées précisément. Le cinquième et dernier métatarsien du pied droit de La Ferrassie 2 est très bien conservé sur sa face dorsale, mais un peu endommagé sur toutes ses autres faces. Par conséquent, les surfaces articulaires pour le métatarsien IV et pour le cuboïde sont visibles, mais pas délimitées précisément.

Analyse des dimensions générales (tableau 8) :

Tableau 8 : Dimensions et indices des métatarsiens droits et gauches de La Ferrassie 2

| MÉTATARSIENS | Valeurs LF2 (droit) [mm] | Valeurs LF2 (gauche) [mm] |
|---|--------------------------|---------------------------|
| Métatarsien 1 | | |
| Longueur | 55.1 | 57 |
| Longueur MT1 / Longueur pied | 27.9 | 28.8 |
| Largeur au milieu | 14.1 | 11.6 |
| Largeur au milieu / Longueur pied | 7.1 | 5.9 |
| Largeur au milieu / Longueur MT1 | 25.6 | 20.4 |
| Épaisseur au milieu | 11.1 | 10 |
| Épaisseur au milieu / Largeur au milieu | 76.7 | 86.2 |
| Largeur de la base | 17.7 | 17 |
| Largeur de la base / Longueur MT1 | 32.1 | 29.8 |
| Épaisseur de la base | 12 | 12.2 |
| Largeur de la tête | 19.2 | 18.9 |
| Largeur de la tête / Longueur pied | 9.7 | 9.6 |
| Largeur de la tête / Longueur MT1 | 34.9 | 33.2 |
| Métatarsien 2 | | |
| Longueur | 66.6 | 70.5 |
| Longueur MT2 / Longueur pied | 33.7 | 35.6 |
| Largeur au milieu | 8 | 7 |
| Largeur au milieu / Longueur pied | 4 | 3.5 |
| Largeur au milieu MT2 / Largeur au milieu MT1 | 56.7 | 60.3 |
| Largeur au milieu MT2 / Longueur MT2 | 12 | 9.9 |
| Épaisseur au milieu | 8.9 | 7.3 |
| Épaisseur au milieu / Largeur au milieu | 111.3 | 104.3 |
| Largeur de la base | 14.2 | 14.3 |
| Largeur de la base / Longueur MT2 | 21.3 | 20.3 |
| Métatarsien 3 | | |
| Longueur | 66.2 | 67 |

| | | |
|------------------------------|------|------|
| Largeur base | 16.2 | 14.5 |
| Longueur base | 15.2 | 16.5 |
| Longueur MT3 / Longueur pied | 33.5 | 33.9 |
| Longueur base / Longueur MT3 | 23 | 24.6 |
| Métatarsien 4 | | |
| Longueur | 62.4 | 63.7 |
| Largeur base | 14.8 | 13 |
| Longueur base | 15.6 | 15.2 |
| Longueur MT4 / Longueur pied | 31.6 | 32.2 |
| Longueur base / Longueur MT4 | 25 | 23.9 |
| Métatarsien 5 | | |
| Longueur | 59.4 | 66.1 |
| Largeur base | 13 | 12.6 |
| Longueur base | 19.2 | 17.7 |
| Longueur MT5 / Longueur pied | 30 | 33.4 |
| Longueur base / Longueur MT5 | 32.3 | 26.8 |

g) Phalanges :

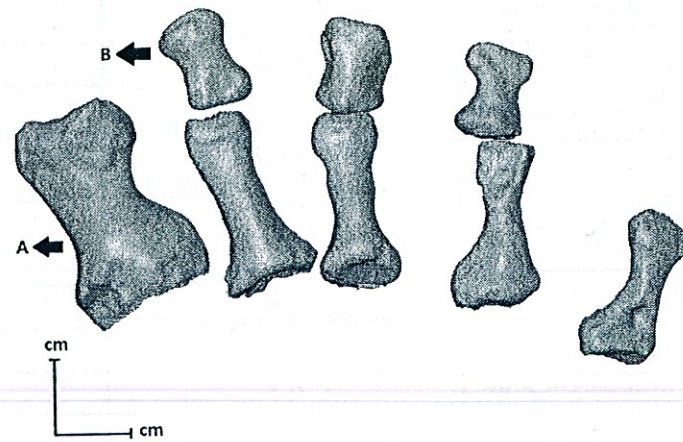


Figure 24 : Vue dorsale des phalanges de La Ferrassie 2 (A : phalanges proximales ; B : phalanges intermédiaires)

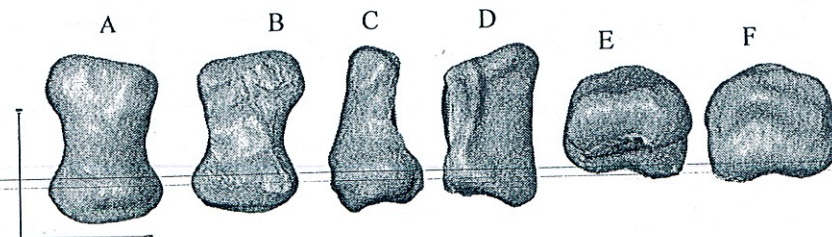


Figure 25 : Phalange intermédiaire pour le métatarsien II (A : vue dorsale ; B : vue plantaire ; C : vue latérale ; D : vue médiale ; E : vue antérieure ; F : vue postérieure) (échelle : centimètre)

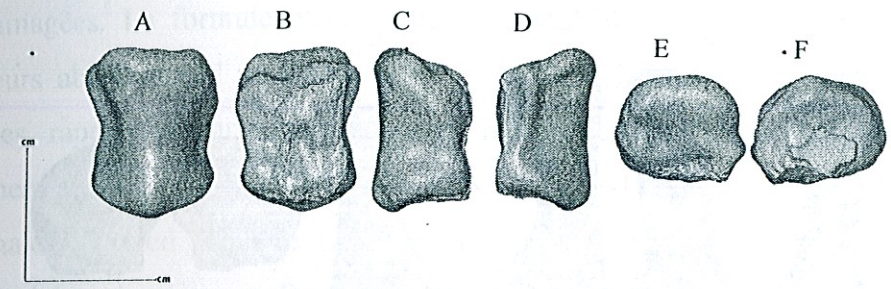


Figure 26 : Phalange intermédiaire pour le métatarsien III (A : vue dorsale ; B : vue plantaire ; C : vue latérale ; D : vue médiale ; E : vue antérieure ; F : vue postérieure) (échelle : centimètre)

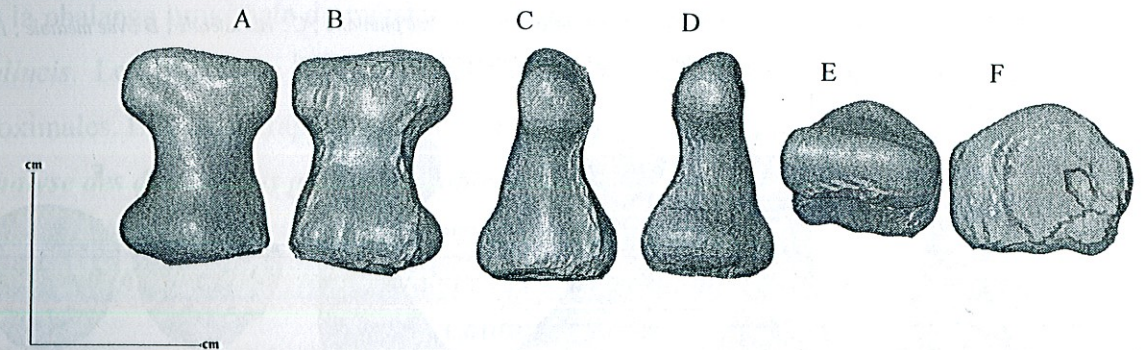


Figure 27 : Phalange intermédiaire pour le métatarsien IV (A : vue dorsale ; B : vue plantaire ; C : vue latérale ; D : vue médiale ; E : vue antérieure ; F : vue postérieure) (échelle : centimètre)

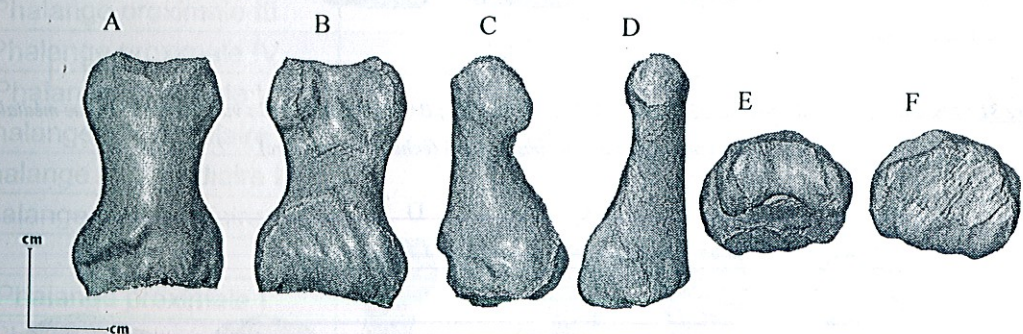


Figure 28 : Phalange proximale pour le métatarsien I (A : vue dorsale ; B : vue plantaire ; C : vue latérale ; D : vue médiale ; E : vue antérieure ; F : vue postérieure) (échelle : centimètre)

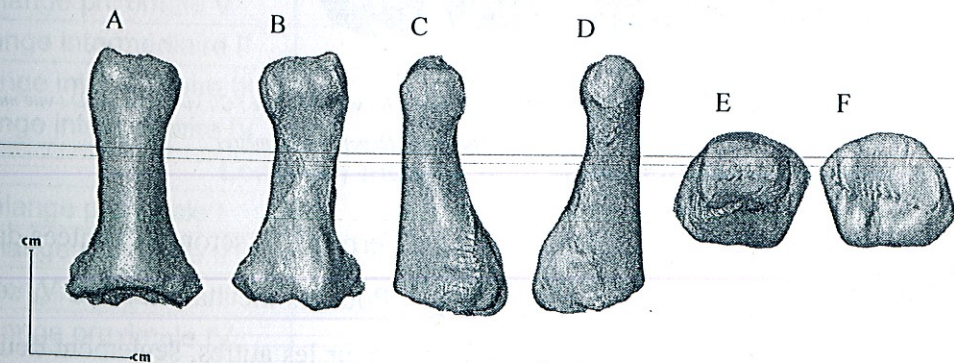


Figure 29 : Phalange proximale pour le métatarsien II (A : vue dorsale ; B : vue plantaire ; C : vue latérale ; D : vue médiale ; E : vue antérieure ; F : vue postérieure) (échelle : centimètre)

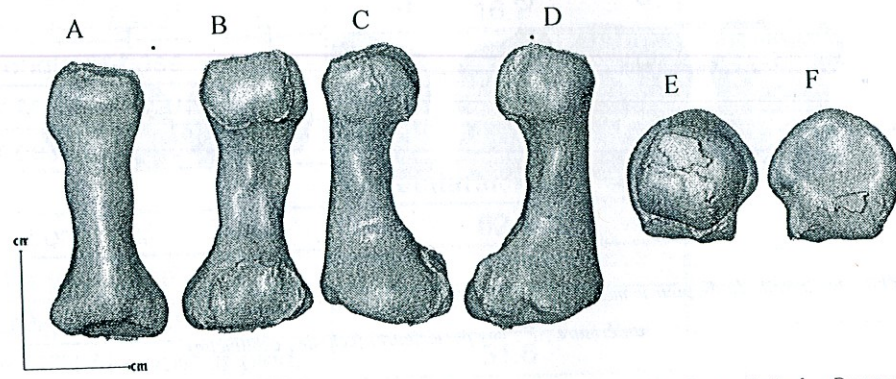


Figure 30 : Phalange proximale pour le métatarsien III (A : vue dorsale ; B : vue plantaire ; C : vue latérale ; D : vue médiale ; E : vue antérieure ; F : vue postérieure) (échelle : centimètre)

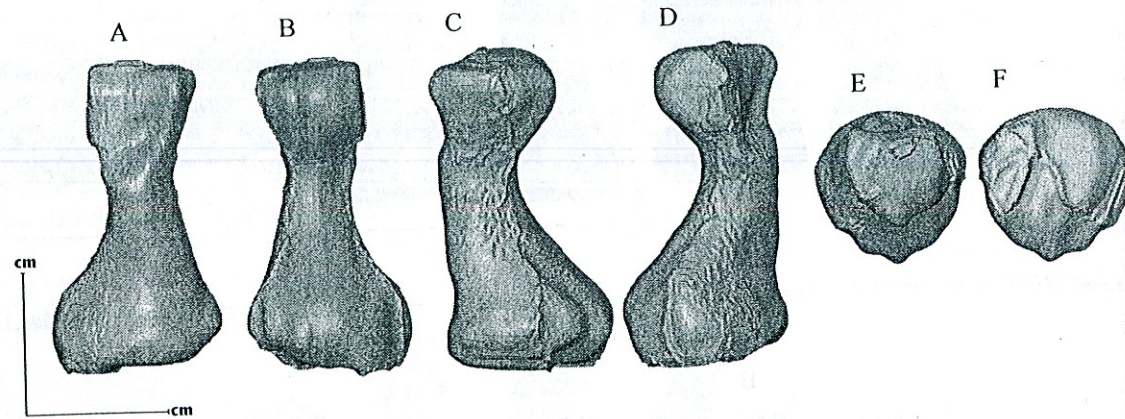


Figure 31 : Phalange proximale pour le métatarsien IV (A : vue dorsale ; B : vue plantaire ; C : vue latérale ; D : vue médiale ; E : vue antérieure ; F : vue postérieure) (échelle : centimètre)

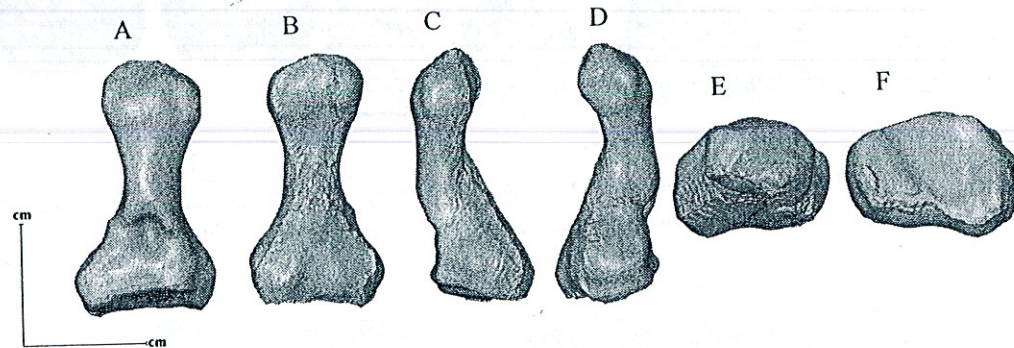


Figure 32 : Phalange proximale pour le métatarsien V (A : vue dorsale ; B : vue plantaire ; C : vue latérale ; D : vue médiale ; E : vue antérieure ; F : vue postérieure) (échelle : centimètre)

Étude morphologique :

Les phalanges retrouvées pour le pied droit de La Ferrassie 2, seront présentées dans leurs vues (figures 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 et 32). Pour les métatarsiens I et V, seulement phalanges proximales ont été retrouvées, alors que pour les autres, seulement deux phalanges ont été retrouvées, à savoir les proximales et intermédiaires. Les phalanges présentent un corps triangulaire, une tête et une base. Néanmoins, la tête de la phalange proximale de la colonne articulaire I ainsi que celle de la quatrième colonne articulaire sont un

endommagées. La formule phalangienne est semblable à celle d'*Homo sapiens* pour les longueurs absolues (I-1 > II-1 > III-1 > IV-1 > V-1). En ce qui concerne les longueurs absolues rapportées aux longueurs des métatarsiens correspondants, la formule reste également identique à celle d'*Homo sapiens* (I-1 > IV-1 > II-1 > III-1 > V-1). Les phalanges proximales du pied droit de La Ferrassie 2 sont plutôt courtes et trapues, et pourvues d'extrémités volumineuses. De plus, les crêtes latérales, assez bien marquées, traduisent de fortes attaches pour les muscles interosseux. Plus précisément, le tubercule latéral de la base de la phalange proximale du métatarsien I est saillant et traduit l'attache du muscle *adductor hallucis*. Les phalanges intermédiaires ont les mêmes caractères morphologiques que les proximales. Elles sont trapues et pourvues de bases volumineuses.

Analyse des dimensions générales (tableau 9) :

Tableau 9 : Dimensions et indices des phalanges (proximales et intermédiaires) droites et gauches de La Ferrassie 2

| PHALANGES | Valeurs LF2 (droit) [mm] | Valeurs LF2 (gauche) [mm] |
|---|--------------------------|---------------------------|
| Longueur totale | | |
| Phalange proximale I | 29,6 | 29 |
| Phalange proximale II | 25,7 | - |
| Phalange proximale III | 24,1 | - |
| Phalange proximale IV | 21,8 | - |
| Phalange proximale V | 20,4 | - |
| Phalange intermédiaire II | 13,4 | - |
| Phalange intermédiaire III | 12,7 | - |
| Phalange intermédiaire IV | 12,2 | - |
| Longueur totale / Longueur pied | | |
| Phalange proximale I | 15 | 14,7 |
| Phalange proximale II | 13 | - |
| Phalange proximale III | 12,2 | - |
| Phalange proximale IV | 11 | - |
| Phalange proximale V | 10,3 | - |
| Phalange intermédiaire II | 6,8 | - |
| Phalange intermédiaire III | 6,4 | - |
| Phalange intermédiaire IV | 6,2 | - |
| Longueur totale / Longueur métatarse | | |
| Phalange proximale I | 53,1 | 50,9 |
| Phalange proximale II | 37,4 | - |
| Phalange proximale III | 35,3 | - |
| Phalange proximale IV | 34,5 | - |
| Phalange proximale V | 31,4 | - |
| Phalange intermédiaire II | 19,5 | - |
| Phalange intermédiaire III | 18,6 | - |
| Phalange intermédiaire IV | 19,3 | - |

h) Sésamoïde :

Ce sésamoïde (*figure 33*), attribué au métatarsien I de La Ferrassie 2, est trapézoïdal. Sa face articulaire est concave. Cette concavité répond normalement à la convexité du sillon latéral de la tête. Cependant, sur le métatarsien I, ce sillon n'est pas visible. Sa face non articulaire, convexe, est plus large sur son côté proximal. Deux mesures ont été effectuées ; la longueur et la largeur (*tableau 10*).

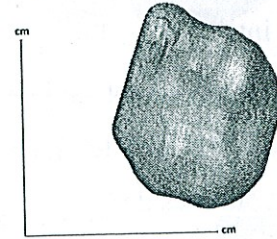


Figure 33 : Vue dorsale du sésamoïde droit, apparenté au métatarsien I, de La Ferrassie 2

Tableau 10 : Dimensions du sésamoïde droit pour le métatarsien I de La Ferrassie 2

| SESAMOÏDE MT1 | Valeurs LF2 (droit) [mm] | Valeurs LF2 (gauche) [mm] |
|---------------|--------------------------|---------------------------|
| Longueur | 9,40 | - |
| Largeur | 8,30 | - |

2 – Comparaison des os des squelettes podaux de LF2 avec des *Homo sapiens* fossiles et d'autres Néandertaliens (dimorphisme interspécifique)

Les valeurs angulaires pour chacun des os du squelette podal de La Ferrassie 2 sont données en *Annexe 3*. Il s'agit ici de comparer ces valeurs avec celles mesurées par Gilles Bérillon (Bérillon, 2000), pour le matériel de comparaison (*Homo sapiens* fossiles et Néandertaliens).

TALUS :

Orientation de la tête et du col du talus (*figure 34*) :

La déclinaison du col et de la tête du talus ($TaIND = 106.9^\circ$) de La Ferrassie 2 se situe dans la variabilité des *Homo sapiens* fossiles, aussi bien pour le pied droit que pour le gauche, ainsi que dans celle des Néandertaliens. L'axe de la tête et du col ($TaINI = 15.1^\circ$) est incliné plantairement dans la variabilité des *Homo sapiens* fossiles et dans celle des Néandertaliens. Enfin, la torsion de la tête du talus ($TaIHT = 33.1^\circ$) se situe dans la variabilité des *Homo sapiens* fossiles et dans celle des Néandertaliens. Ce caractère traduit une assez faible composante médio-proximale de l'arche transversale.

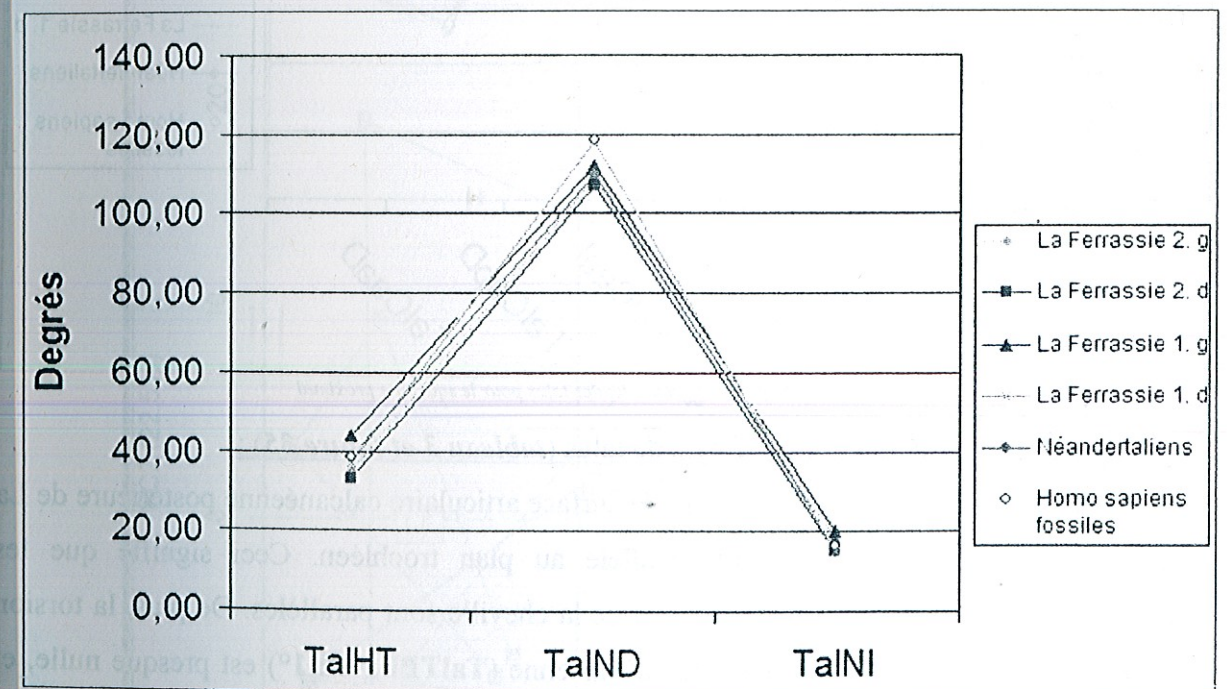


Figure 34 : Profils architecturaux des talus pour le squelette médial

Inclinaison du plan trochléen du talus (*figure 35*) :

Dans l'ensemble, la configuration de La Ferrassie 2 est relativement proche de celle des *Homo sapiens* fossiles. L'inclinaison de la surface articulaire calcanéenne moyenne ($TalCamI = 106.9^\circ$) s'avère être similaire à celle d'*Homo sapiens* et des autres Néandertaliens. Aussi, l'inclinaison de la surface articulaire calcanéenne antérieure ($TalCaaI = 116.6^\circ$) se trouve similaire aux valeurs d'*Homo sapiens*. De même, pour les autres valeurs

angulaires du talus, celles de La Ferrassie 2 s'inscrivent aussi bien dans la variabilité d'*Homo sapiens* que dans celle des Néandertaliens. Concrètement, cela signifie que d'après l'inclinaison du plan trochléen par rapport à la face plantaire du talus ($TalTPI = 91.1^\circ$), transversalement, la surface articulaire calcanéenne postérieure et le plan trochléen sont parallèles, et médialement, ceux-ci sont divergents. Cela s'exprime par le fait que le bord médial de la trochlée est plus haut que le bord latéral. Ainsi, les mouvements de flexion et d'extension de la cheville, tout comme chez les *Homo sapiens*, devaient se faire chez La Ferrassie 2 préférentiellement dans un plan vertical sagittal.

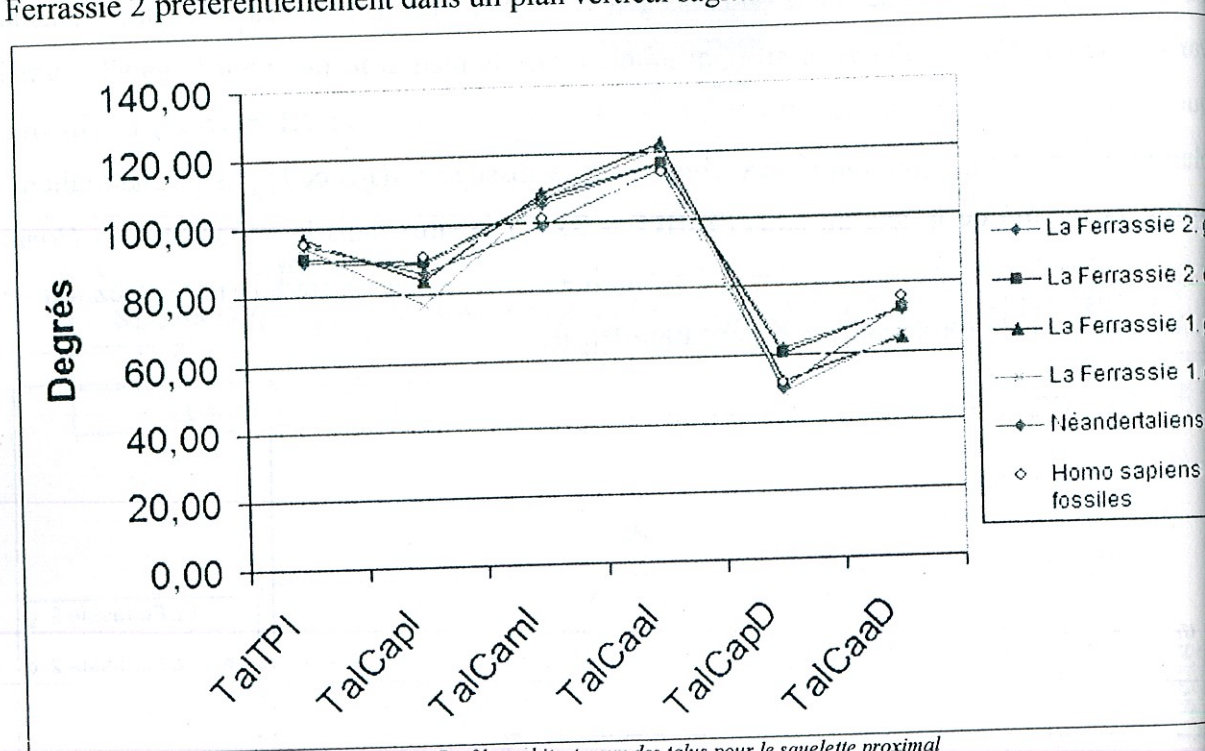


Figure 35 : Profils architecturaux des talus pour le squelette proximal

Surfaces articulaires calcanéennes du talus (tableau 3 et figure 35) :

Dans un premier temps, transversalement, la surface articulaire calcanéenne postérieure de La Ferrassie 2 s'avère être quasiment parallèle au plan trochléen. Ceci signifie que les articulations talo-calcanéenne postérieure et de la cheville sont parallèles. De plus, la torsion proximo-distale de la surface articulaire calcanéenne ($TalTPI = 91.1^\circ$) est presque nulle, et reste similaire de celles d'*Homo sapiens* et des autres Néandertaliens. Plantairement, la déclinaison de la surface articulaire calcanéenne postérieure ($TalCapD = 60.2^\circ$) se situe dans la partie supérieure des variabilités d'*Homo sapiens* (60°) et des Néandertaliens (57°). Ainsi, les surfaces articulaires calcanéennes du talus de La Ferrassie 2 s'avèrent relativement semblables à celles d'*Homo sapiens* et des autres Néandertaliens, aussi bien horizontalement que transversalement.

Analyse en Composantes Principales (ACP) (figure 36) :

Afin de mieux apprécier la répartition des spécimens les uns par rapport aux autres, nous avons réalisé une analyse en composantes principales, à partir des variables angulaires suivantes : $TalHT$, $TalCamI$, $TalTPI$, $TalCapD$ et $TalCaaD$. Il se trouve que lorsque les valeurs angulaires des talus de La Ferrassie 1 et de La Ferrassie 2 sont projetées selon le plan factoriel 1 - 2, ces talus se positionnent dans le nuage des *Homo sapiens* fossiles, mais également dans celui des autres Néandertaliens.

Les deux premiers axes de l'ACP expliquent 58.5% de la variance totale. L'axe 1 exprime 36% de la variance totale, et est représentatif de la torsion de la tête du talus ($TalHT = 33.1^\circ$), ainsi que de l'inclinaison de la surface articulaire calcanéenne moyenne de l'articulation talo-calcanéenne ($TalCamI = 106.9^\circ$) et de l'inclinaison du plan trochléen ($TalTPI = 91.1^\circ$). L'axe 2 exprime 22.5% de la variance totale, et est représentatif de l'orientation dans un plan horizontal de l'articulation talo-calcanéenne, soit de la déclinaison des surfaces articulaires calcanéennes postérieure ($TalCapD = 60.2^\circ$) et antérieure ($TalCaaD = 72.8^\circ$).

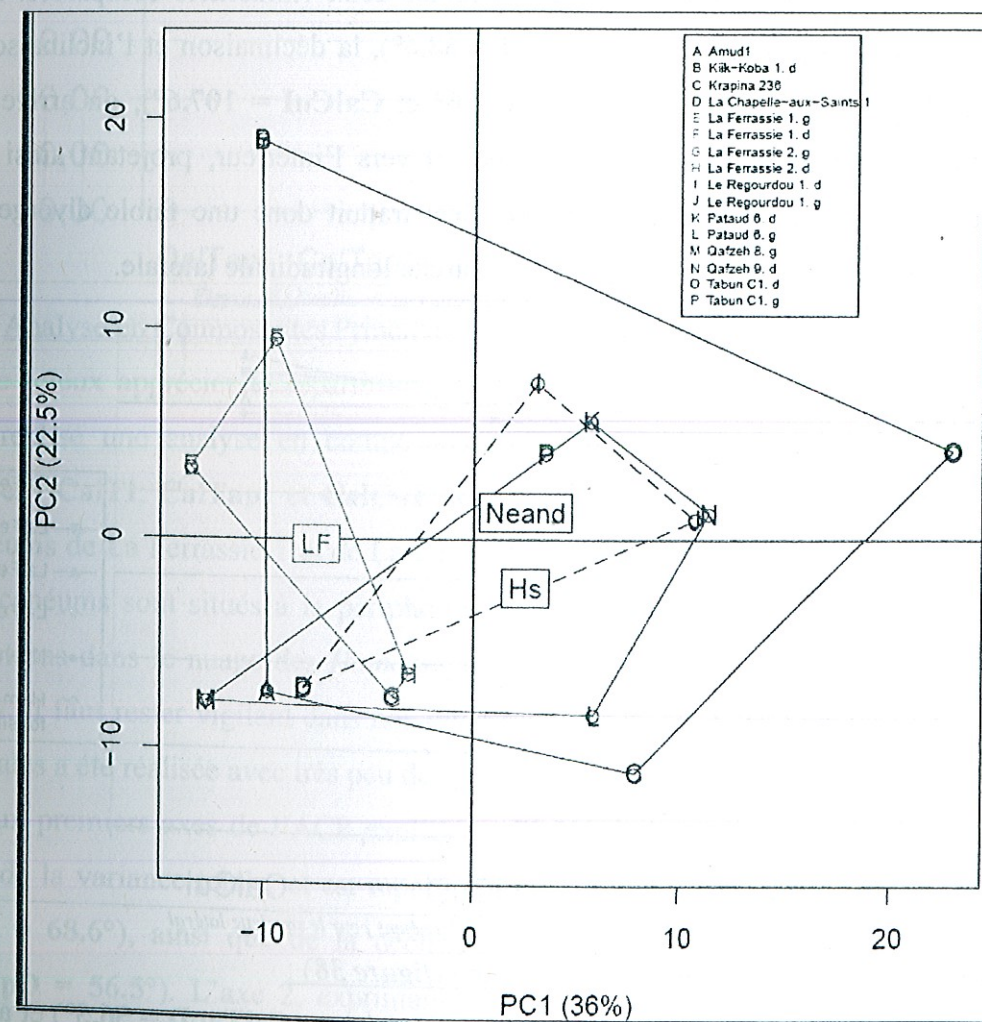


Figure 36 : Analyse en Composantes Principales selon les axes principaux 1 et 2 des talus

CALCANEUM :

Torsion proximo-distale du calcaneum (figure 37) :

La torsion proximo-distale ($CalTI = 68.6^\circ$) du calcaneum droit de La Ferrassie 2 se situe dans les variabilités d'*Homo sapiens* et des Néandertaliens. Ceci signifie donc que l'axe médio-latéral de l'articulation calcaneéo-cuboïdienne, et par conséquent le bloc cuboïdo-métatarsien sont inclinés aussi bien latéralement que plantairement. Cela traduit la présence d'une voûte transversale très marquée latéralement, comme chez *Homo sapiens*.

Orientation de la surface articulaire cuboïdienne (figure 37) :

Comme la déclinaison de la surface articulaire cuboïdienne ($CalCuD = 105.6^\circ$) s'avère être supérieure à 90° , cela montre que celle-ci est oblique latéralement et vers l'avant par rapport à l'axe d'allongement du calcaneum. Cette déclinaison se situe aussi bien dans la variabilité d'*Homo sapiens* que dans celle des Néandertaliens. De plus, l'inclinaison de la surface articulaire cuboïdienne ($CalCuI = 107.6^\circ$) démontre que cette surface est inclinée plantairement. Cette mesure reste également dans les deux variabilités comparées. Lorsque l'on associe la torsion proximo-distale ($CalTI = 68.6^\circ$), la déclinaison et l'inclinaison de la surface articulaire cuboïdienne ($CalCuD = 105.6^\circ$ et $CalCuI = 107.6^\circ$), on arrive ainsi à déterminer que cette surface est oblique en bas et vers l'intérieur, projetant ainsi le bloc cuboïdo-métatarsien vers le bas et l'intérieur. Ceci traduit donc une faible divergence des métatarsiens IV et V, ainsi que la présence d'une arche longitudinale latérale.

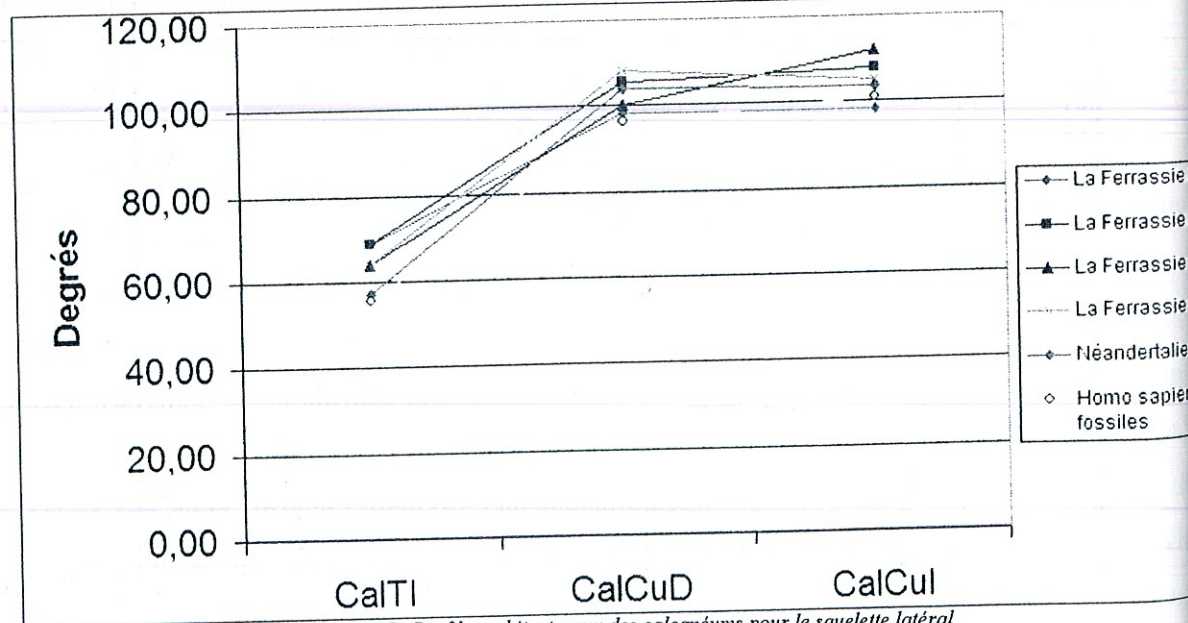


Figure 37 : Profils architecturaux des calcaneums pour le squelette latéral

Surfaces articulaires talaies du calcaneum (figure 38) :

Les déclinaisons des surfaces articulaires talaies postérieure ($CalTapD = 56.5^\circ$) et antérieure ($CalTaaD = 76.9^\circ$) permettent de déduire que ces surfaces divergent distalement

latéralement. Cette configuration est donc comparable aux variabilités d'*Homo sapiens* et des Néandertaliens. En ce qui concerne leurs inclinaisons ($CalTapI = 46.8^\circ$ et $CalTaaI = 73.6^\circ$), ainsi que celle pour la surface articulaire talaire moyenne ($CalTamI = 47.6^\circ$), on peut déterminer que ces surfaces sont obliques médialement. Ceci signifie concrètement que le squelette médial du pied droit de La Ferrassie 2 n'est pas affaissé, mais bien au contraire plutôt en position haute, traduisant ainsi la présence d'une arche plantaire longitudinale médiale.

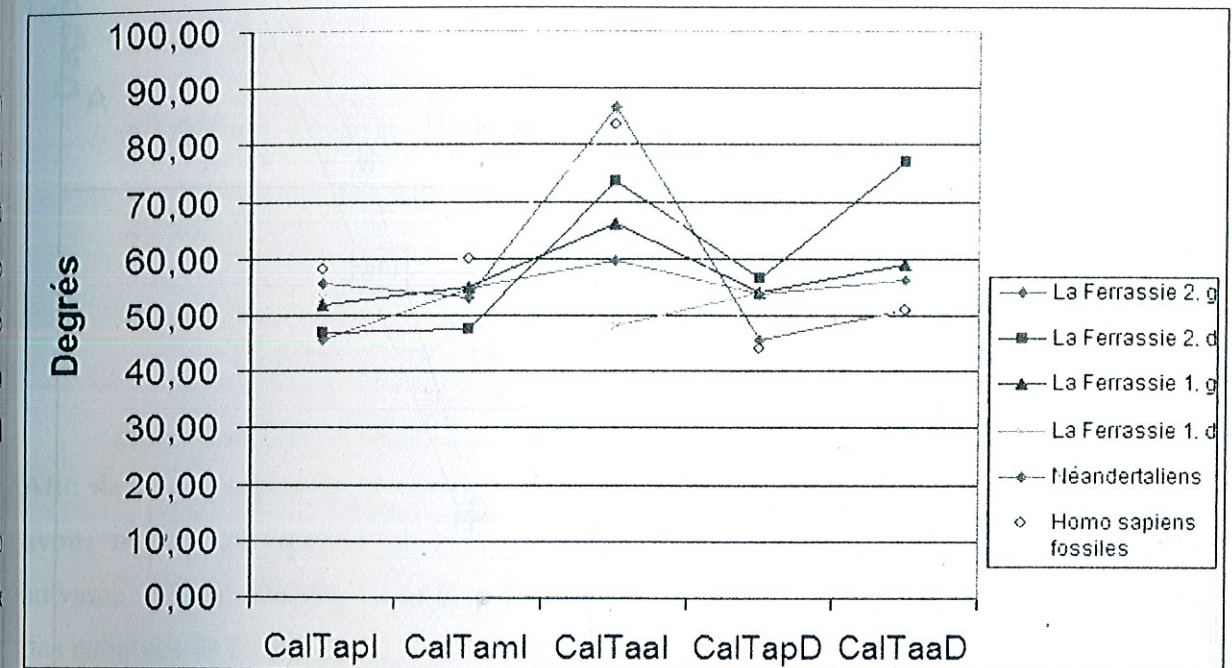


Figure 38 : Profils architecturaux des calcaneums pour le squelette médial

Analyse en Composantes Principales (ACP) (figure 39) :

Afin de mieux apprécier la répartition des spécimens les uns par rapport aux autres, nous avons réalisé une analyse en composantes principales, à partir des variables angulaires suivantes : $CalTI$, $CalTapI$ et $CalCuI$. Il se trouve que lorsque les valeurs angulaires des calcaneums de La Ferrassie 1 et de La Ferrassie 2 sont projetées selon le plan factoriel 1 - 2, ces calcaneums sont situés à la périphérie du nuage des autres Néandertaliens, mais ne se trouvent pas dans le nuage des *Homo sapiens* fossiles, même s'ils restent néanmoins assez proches. Il faut rester vigilant dans nos interprétations puisque cette analyse en composantes principales a été réalisée avec très peu de spécimens.

Les deux premiers axes de l'ACP expliquent 77.1% de la variance totale. L'axe 1 exprime 53.3% de la variance totale, et est représentatif de la torsion proximo-distale du calcaneum ($CalTI = 68.6^\circ$), ainsi que de la déclinaison de la surface articulaire talaire postérieure ($CalTapD = 56.5^\circ$). L'axe 2, exprimant 23.8% de la variance totale, est représentatif de l'inclinaison de la surface articulaire pour le cuboïde ($CalCuI = 107.6^\circ$).

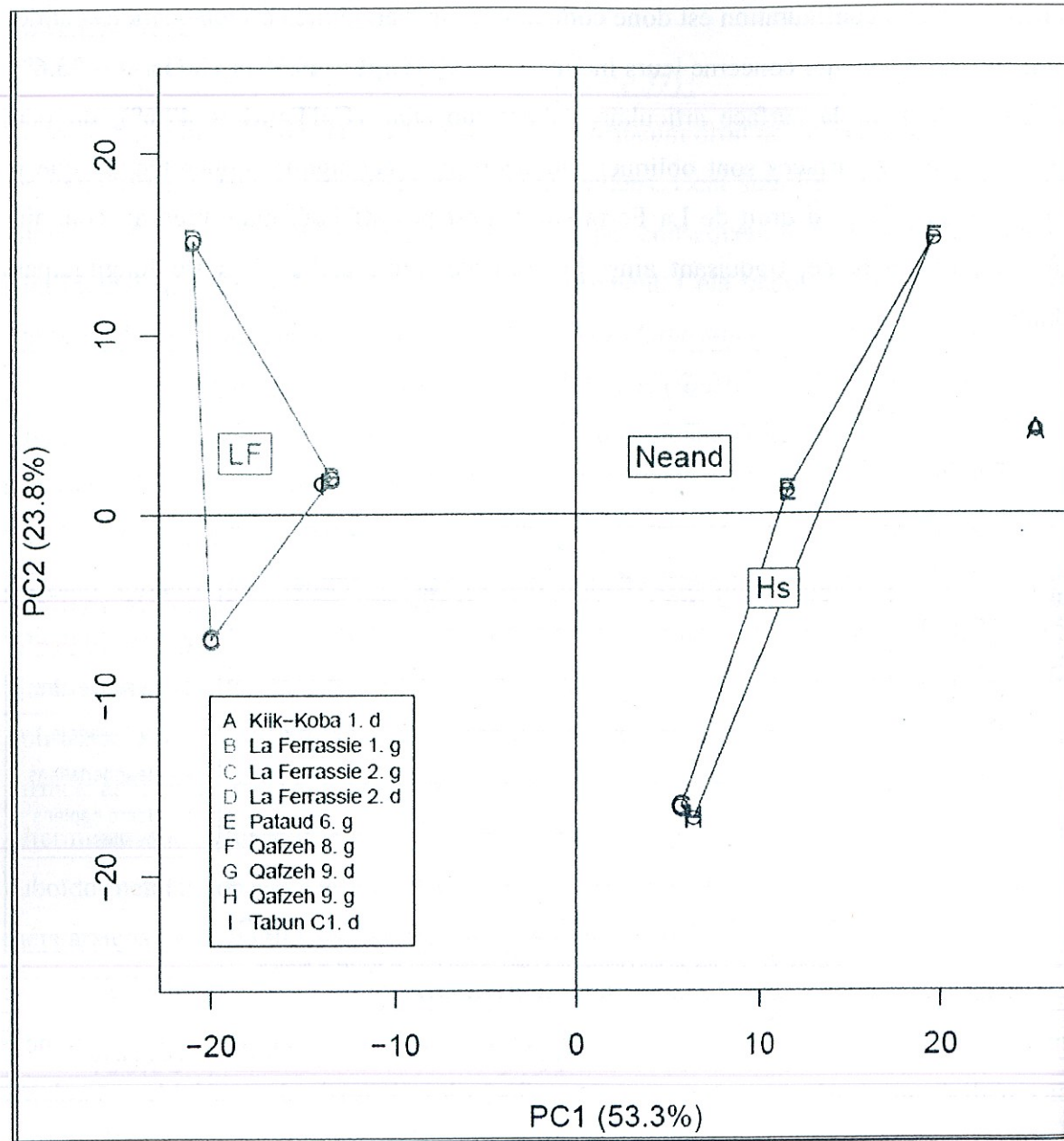


Figure 39: Analyse en Composantes Principales selon les axes principaux 1 et 2 des calcanéums.

CUBOÏDE :

La figure 40 montre que la déclinaison de la surface articulaire pour le métatarsien I ($Cub4D = 25.5^\circ$) se situe bien dans les variabilités d'*Homo sapiens* et des Néandertaliens. Cela signifie que cette surface est oblique latéralement. De plus, les surfaces articulaires calcanéenne et métatarsienne IV sont presque parallèles, d'après la valeur de l'inclinaison de cette dernière surface ($Cub4I = 92.4^\circ$). De même, cette valeur se trouve dans les deux variabilités comparées. Lorsque l'on observe l'inclinaison des surfaces articulaires calcanéenne et métatarsienne V, on s'aperçoit que d'après la valeur de cette dernière ($Cub5I = 105.8^\circ$), ces deux surfaces sont presque parallèles. Là encore, cette valeur se situe dans les deux variabilités. Enfin, l'inclinaison de l'axe médio-latéral de la surface articulaire

calcaneenne ($CubmpI = 97.1^\circ$) reste dans les deux variabilités avec lesquelles elle est comparée.

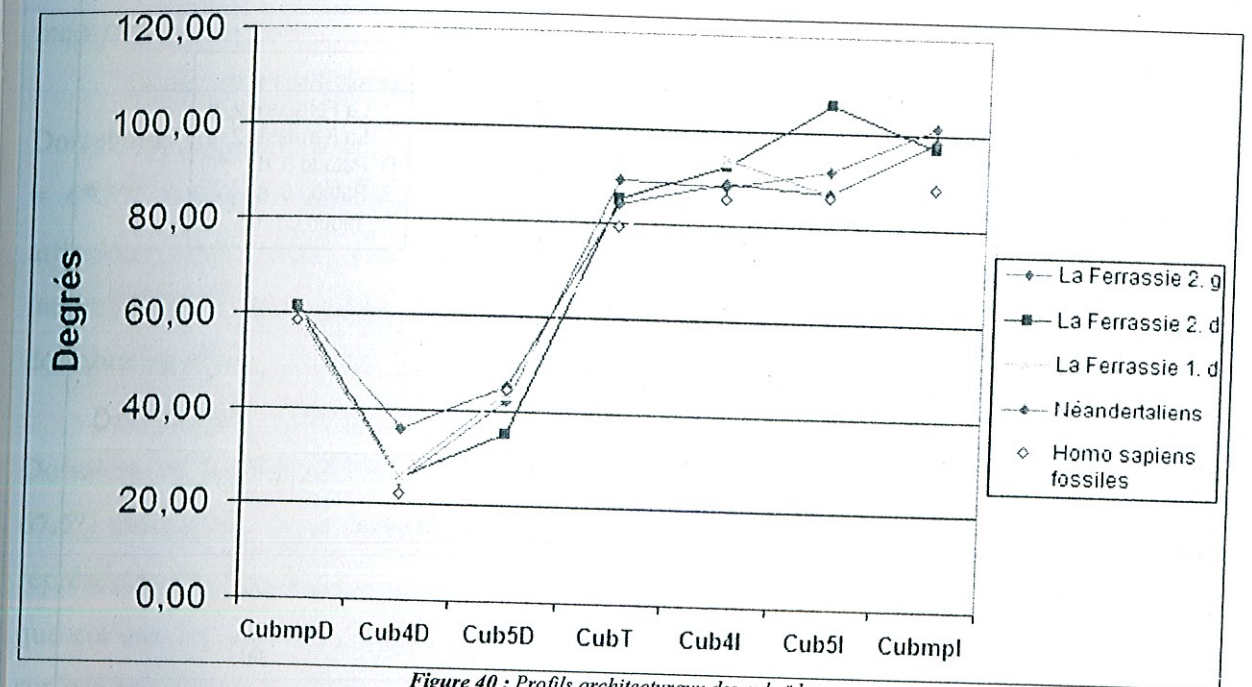


Figure 40: Profils architecturaux des cuboïdes.

Analyse en Composantes Principales (ACP) (figure 41) :

Afin de mieux apprécier la répartition des spécimens les uns par rapport aux autres, nous avons réalisé une analyse en composantes principales, à partir de la variable angulaire suivante : $CubT$, $Cub5I$, $Cub5D$ et $Cub4D$. Il se trouve que lorsque les valeurs angulaires des cuboïdes de La Ferrassie 1 et de La Ferrassie 2 sont projetées selon le plan factoriel 1 - 2, ces cuboïdes sont situés à la périphérie du nuage des autres Néandertaliens, mais ne se trouvent pas dans le nuage des *Homo sapiens* fossiles, même s'ils restent néanmoins assez proches. Il faut rester vigilant dans nos interprétations puisque cette analyse en composantes principales a été réalisée avec très peu de spécimens.

Les deux premiers axes de l'ACP expliquent 85.7% de la variance totale. L'axe 1 exprime 67.7% de la variance totale, et est représentatif de la déclinaison et de l'inclinaison de la surface articulaire du cuboïde pour le métatarsien IV ($Cub5I = 105.8^\circ$ et $Cub5D = 35.1^\circ$). L'axe 2 exprime 16% de la variance totale, et est représentatif de la torsion proximo-distale du cuboïde ($CubT = 85.2^\circ$).

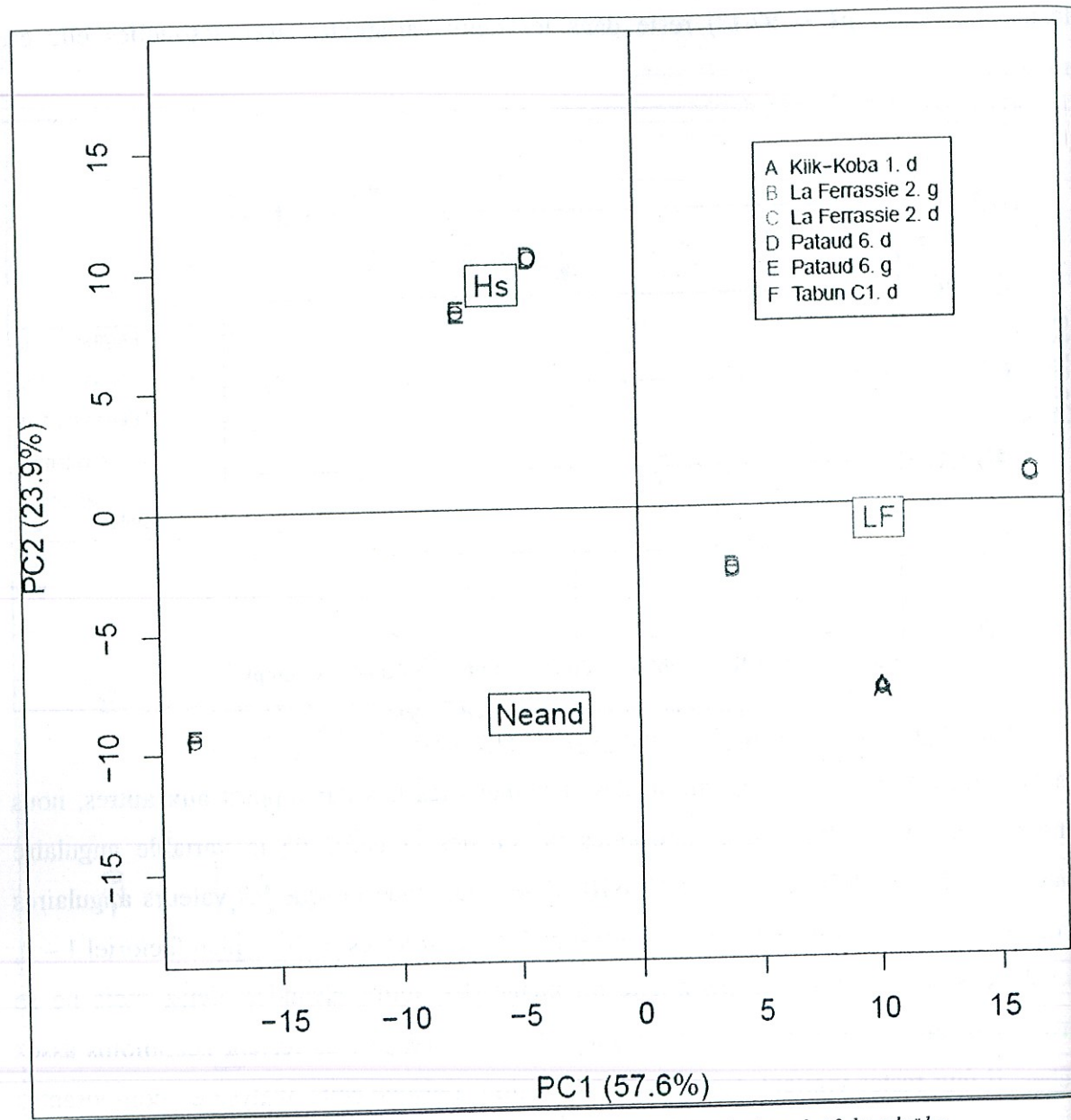


Figure 41 : Analyse en Composantes Principales selon les axes principaux 1 et 2 des cuboïdes

NAVICULAIRE :

La **figure 42** montre que toutes les valeurs angulaires des pieds de La Ferrassie 2 entrent dans les variabilités d'*Homo sapiens* et des Néandertaliens.

Orientation de la surface articulaire pour le cunéiforme médial :

La déclinaison de la surface articulaire pour le cunéiforme médial ($NavmD = 88.1^\circ$) se situe bien dans les variabilités d'*Homo sapiens* et des Néandertaliens. La torsion proximo-distale médiale ($NavmT = 107.5^\circ$) établit que l'axe dorso-plantaire du naviculaire droit de La Ferrassie 2 est oblique médialement et plantairement en vue distale. Cette torsion est incluse dans les variabilités d'*Homo sapiens* et des Néandertaliens. Cela signifie que le cunéo-métatarsien I est projeté plantairement par rapport à l'articulation talo-naviculaire. En plus, l'inclinaison de la surface articulaire pour le cunéiforme médial ($NavmI = 77.5^\circ$)

indique que cette orientation s'avère être assez oblique dorsalement, signifiant une flexion dorsale de la première colonne articulaire du pied, et par conséquent une arche longitudinale médiale peu marquée.

Orientation de la surface articulaire pour le cunéiforme intermédiaire :

Dorsalement, la déclinaison de la surface articulaire pour le cunéiforme intermédiaire ($NavID = 68.8^\circ$) implique que cette surface est oblique latéralement relativement à la surface articulaire talaire, puisque sa valeur inférieure à 90° . Distalement, la torsion proximo-distale intermédiaire du naviculaire ($NavIT = 105.3^\circ$) indique que l'axe dorso-plantaire est oblique dorsalement et latéralement. Cette torsion est équivalente à celle pour le cunéiforme médial.

Orientation de la surface articulaire pour le cunéiforme latéral :

Dorsalement, la déclinaison de la surface articulaire pour le cunéiforme latéral ($NavLD = 67.7^\circ$) indique que cette surface est oblique latéralement. Distalement, l'axe dorso-plantaire représentée par la torsion proximo-distale latérale du naviculaire ($NavLT = 153.7^\circ$) indique que cet axe est oblique dorsalement et latéralement. Enfin, latéralement, l'inclinaison de la surface articulaire pour le cunéiforme latéral ($NavLI = 48.8^\circ$) implique que celle-ci est oblique dorsalement.

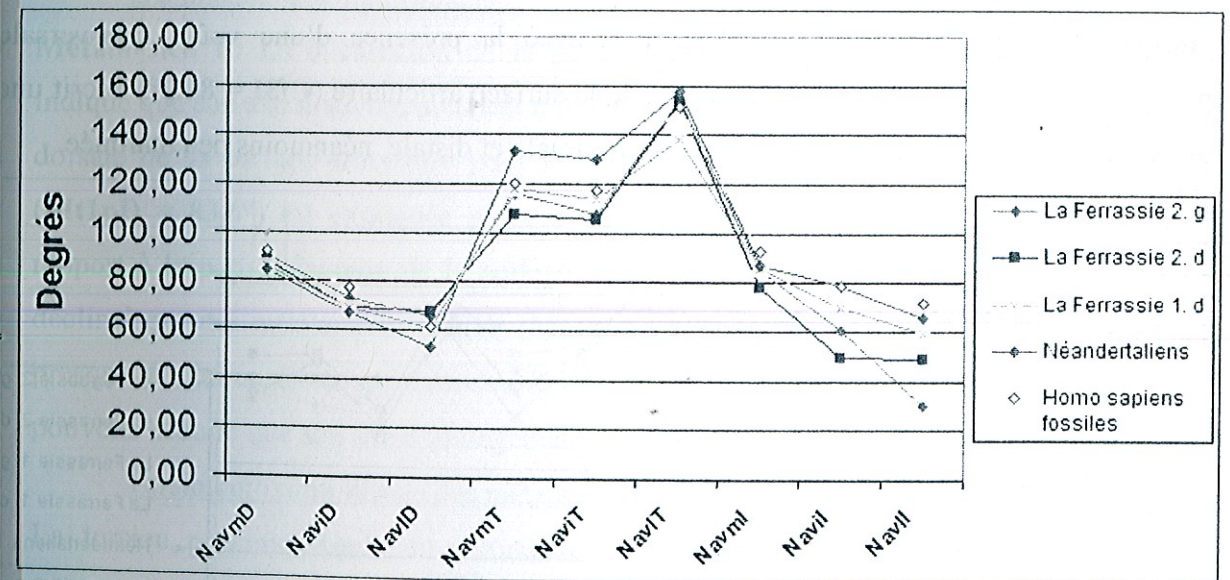


Figure 42 : Profils architecturaux des naviculaires

CUNEIFORMES :

La **figure 43** montre que toutes les valeurs angulaires des pieds de La Ferrassie 2 entrent dans les variabilités d'*Homo sapiens* et des Néandertaliens.

Cunéiforme médial : L'analyse des déclinaisons dorsale en vue dorsale ($Cf1dD = 77.5^\circ$) et plantaire en vue plantaire ($Cf1pD = 80.6^\circ$) de la surface articulaire pour le métatarsien I ne permet pas de distinguer les pieds de La Ferrassie 2 d'*Homo sapiens*. De plus, la torsion

proximo-distale du cunéiforme médial ($Cf1T = 106^\circ$) indique que cet os est assez peu tordu médialement. Médialement, l'inclinaison de la surface articulaire pour le métatarsien I ($Cf1I = 93.2^\circ$) traduit une obliquité assez faible vers le haut relativement à la surface articulaire pour le naviculaire. Ceci signifie que les articulations naviculo-cunéiforme I et cunéo-métatarsienne I sont presque parallèles.

Cunéiforme intermédiaire : Dorsalement, la déclinaison de la surface articulaire pour le métatarsien II ($Cf2D = 102.3^\circ$) explique que cette surface est presque parallèle à la surface articulaire naviculaire. Proximo-distalement, la torsion du cunéiforme intermédiaire ($Cf2T = 85.6^\circ$) est latérale. Médialement, l'inclinaison de la surface articulaire pour le métatarsien I ($Cf2I = 71.3^\circ$) indique que cette surface est inclinée plantairement par rapport à la surface articulaire naviculaire.

Cunéiforme latéral : Dorsalement, l'angle médio-latéral du cunéiforme latéral ($Cf3mD = 90^\circ$) permet de déterminer que les faces médiale et latérale de ce cunéiforme sont parallèles. De plus, dorsalement, la déclinaison de la surface articulaire pour le métatarsien III ($Cf3D = 72.5^\circ$) indique que cette surface est oblique médialement par rapport à la surface articulaire naviculaire. La torsion proximo-distale du cunéiforme latéral ($Cf3T = 84.5^\circ$) s'avère être presque nulle. Celle-ci serait en opposition avec la présence d'une voûte transversale marquée. Enfin, médialement, l'inclinaison de la surface articulaire ($Cf3I = 84.2^\circ$) décrit une divergence dorsale des surfaces articulaires proximale et distale, néanmoins peu marquée.

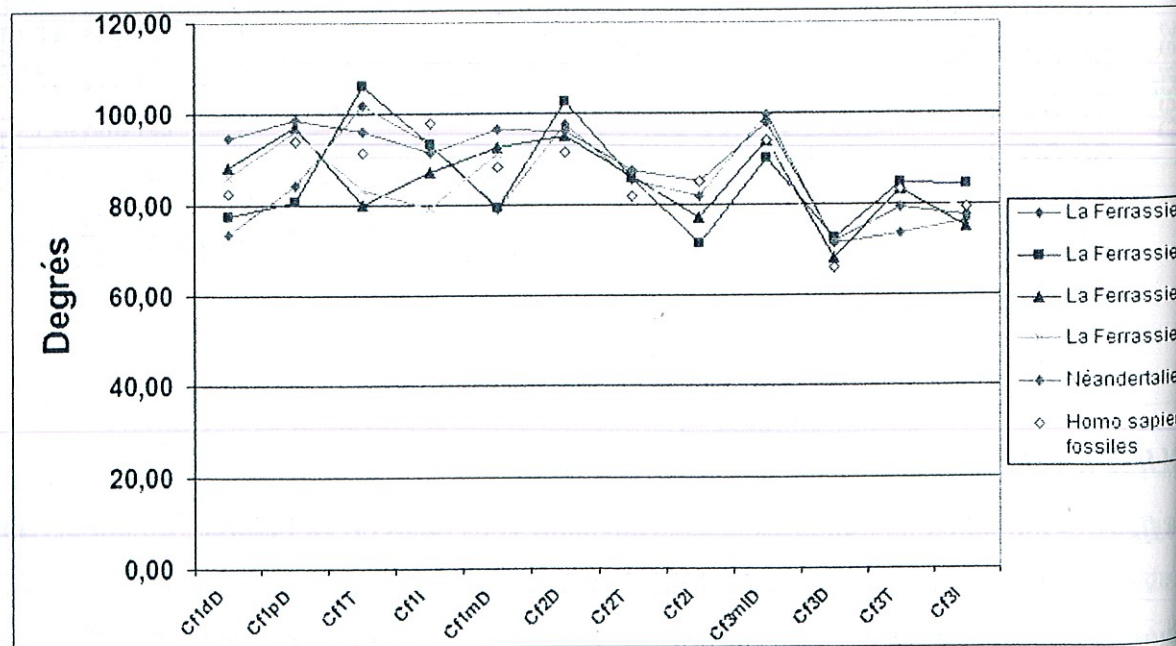


Figure 43 : Profils architecturaux des cunéiformes médiaux, intermédiaires et latéraux

METATARSIENS :

La figure 44 montre que toutes les valeurs angulaires des pieds de La Ferrassie 2 entrent dans les variabilités d'*Homo sapiens* et des Néandertaliens.

Inclinaison des métatarsiens :

L'axe d'allongement du métatarsien I est perpendiculaire à l'axe dorso-plantaire de la surface articulaire pour le cunéiforme médial ($Mt1I = 92.9^\circ$). L'inclinaison du métatarsien II ($Mt2I = 91.8^\circ$) indique que l'axe d'allongement de celui-ci est assez peu incliné plantairement par rapport à la surface articulaire pour le cunéiforme intermédiaire. L'inclinaison du métatarsien III ($Mt3I = 88.5^\circ$) montre que l'axe d'allongement de celui-ci est assez peu incliné dorsalement par rapport à la surface articulaire pour le cunéiforme latéral. Quant à l'inclinaison du métatarsien IV ($Mt4I = 90^\circ$), celle-ci permet de déduire que l'axe d'allongement de cet os s'avère être perpendiculaire à l'axe dorso-plantaire de la surface articulaire cuboïdienne. Enfin, en ce qui concerne l'inclinaison du métatarsien V ($Mt5I = 99.2^\circ$), nous pouvons remarquer que l'axe d'allongement de ce dernier est plutôt perpendiculaire à l'axe dorso-plantaire de la surface articulaire cuboïdienne.

Déclinaison des métatarsiens :

Métatarsien I : La déclinaison de la partie dorsale de ce métatarsien ($Mt1dD = 83.8^\circ$) indique que son axe d'allongement est faiblement oblique médialement par rapport à la partie dorsale de sa surface articulaire pour le cunéiforme médial. Plantairement, sa déclinaison ($Mt1pD = 83.6^\circ$) est expliquée par une obliquité médiale de son axe d'allongement par rapport à la partie plantaire de la surface articulaire proximale. **Métatarsiens II à V :** Les déclinaisons des métatarsiens II à IV ($Mt2D = 74.7^\circ$, $Mt3D = 69.4^\circ$ et $Mt4D = 71.8^\circ$) sont presque similaires. En ce qui concerne la déclinaison du métatarsien V ($Mt5D = 54.9^\circ$), nous pouvons déduire que son axe d'allongement diverge de ceux des autres métatarsiens.

Torsion proximo-distale des métatarsiens :

La torsion proximo-distale du métatarsien I ($Mt1T = 119.7^\circ$) indique que celui-ci est faiblement tordu médialement. Pour les torsions des quatre autres métatarsiens ($Mt2T = 83.1^\circ$, $Mt3T = 122.8^\circ$, $Mt4T = 119^\circ$ et $Mt5T = 117.4^\circ$), celles-ci sont médiales et plus ou moins équivalentes les unes aux autres.

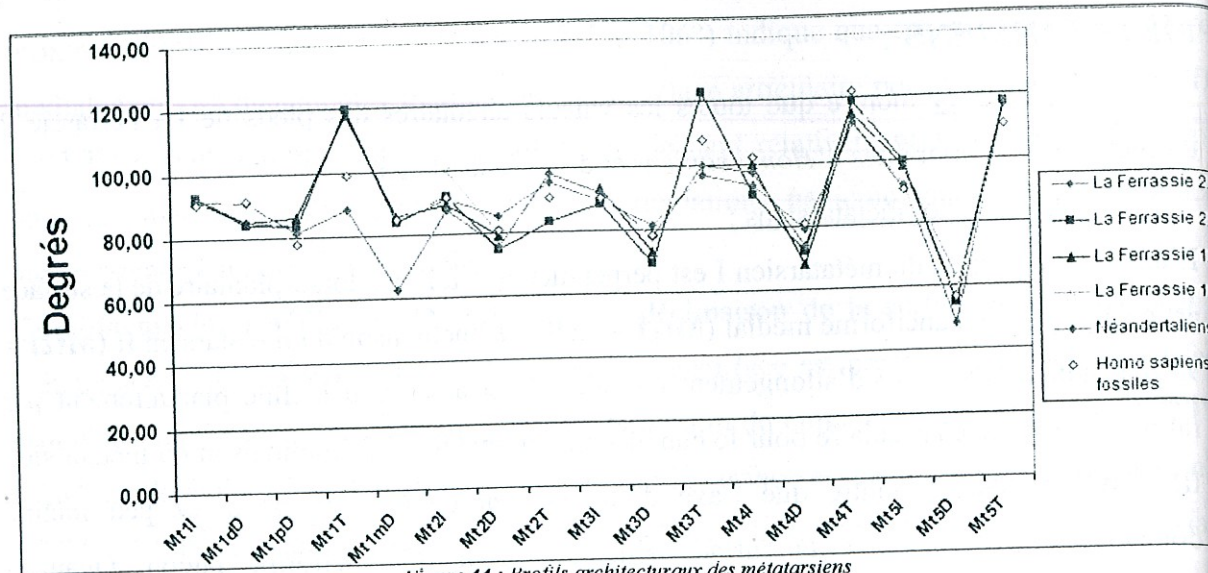


Figure 44 : Profils architecturaux des métatarsiens

3 - L'analyse des colonnes articulaires :

Les valeurs angulaires pour chacun des os du squelette podal de La Ferrassie 2 sont données en Annexe 3.

a) Squelette médial :

A partir des composantes angulaires des différents os d'une même colonne articulaire, nous pouvons tenter d'identifier une structure architecturale. Les variables angulaires retenues pour le squelette médial du pied droit de La Ferrassie 2 sont données dans le tableau 11 :

Tableau 11 : Liste des variables angulaires utilisées pour les analyses en composantes principales des colonnes articulaires I, II et III du pied droit de La Ferrassie 2

| Squelette médial | Colonne articulaire | Talus | Naviculaire | Cunéiformes | Métatarsiens |
|------------------|-------------------------|-----------------------|-------------|-------------|--------------|
| | | colonne articulaire I | TalNI | NavmD | Cf1mD |
| | | TalHT | NavmT | Cf1T | Mt1T |
| | | TalND | Navml | Cf1I | Mt1I |
| | colonne articulaire II | TalNI | NavID | Cf2D | Mt2D |
| | | TalHT | NavIT | Cf2T | Mt2T |
| | | TalND | Navil | Cf2I | Mt2I |
| | colonne articulaire III | TalNI | NavID | Cf3D | Mt3D |
| | | TalHT | NavIT | Cf3T | Mt3T |
| | | TalND | Navil | Cf3I | Mt3I |

Analyse de la colonne articulaire I (figure 45) :

Afin de mieux apprécier la répartition des spécimens les uns par rapport aux autres, nous avons réalisé une analyse en composantes principales, à partir des variables angulaires suivantes : TalNI, Mt1mD, TalHT, Mt1I, Cf1I, NavmD et Cf1T. Lorsque les valeurs angulaires de la colonne articulaire I de La Ferrassie 2 sont projetées selon le plan factoriel PC1-2, cette colonne est située à la périphérie du nuage des autres Néandertaliens et du nuage des *Homo sapiens* fossiles. Cela est dû au fait que la déclinaison moyenne de la surface articulaire

pour le métatarsien I du cunéiforme (Cf1mD) et l'inclinaison de la surface articulaire pour le cunéiforme médial du naviculaire (NavmI) sont plus faibles que pour *Homo sapiens* et les autres Néandertaliens. Il faut rester vigilant dans nos interprétations puisque cette analyse en composantes principales a été réalisée avec très peu de spécimens.

Les deux premiers axes de l'ACP expliquent 74.2% de la variance totale. L'axe 1 exprime 54.4% de la variance totale, et est représentatif de la torsion de la tête du talus (TalHT = 33.1°), de la torsion du cunéiforme médial (Cf1T = 106°). L'axe 2 exprime 19.8% de la variance totale, et est représentatif de l'inclinaison du métatarsien I (Mt1I = 92.9°), de la déclinaison moyenne de la surface articulaire du métatarsien I pour le cunéiforme médial (Mt1mD = 83.7°) et de la déclinaison de la surface articulaire du naviculaire pour le cunéiforme médial (NavmD = 88.1°).

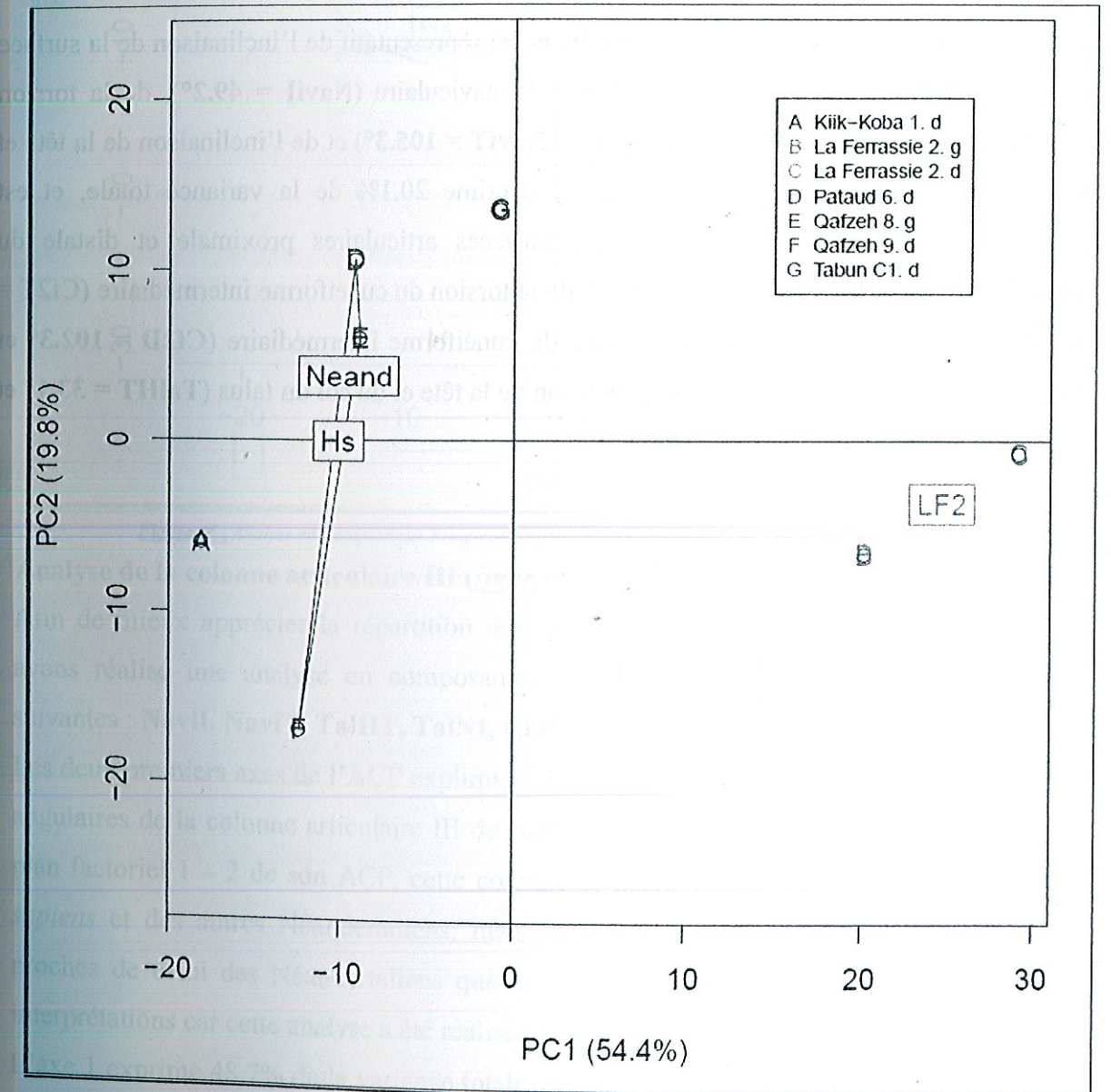


Figure 45 : Analyse en Composantes Principales selon les axes principaux 1 et 2 de la colonne articulaire I.

Analyse de la colonne articulaire II (figure 46) :

Afin de mieux apprécier la répartition des spécimens les uns par rapport aux autres, nous avons réalisé une analyse en composantes principales, à partir des variables angulaires suivantes : Cf2D, Navil, Navid, TalNI, Cf2I, TalND, TalHT, Cf2T et NaviT.

Les deux premiers axes de l'ACP de cette colonne expliquent 87% de la variance totale. Dans le plan factoriel 1 - 2 de son ACP, la colonne articulaire II du pied droit de La Ferrassie 2 se positionne en dehors des nuages d'*Homo sapiens* et des autres Néandertaliens, mais reste néanmoins très proche de ceux-ci. Ceci est dû au fait que l'inclinaison de la surface articulaire pour le cunéiforme intermédiaire du naviculaire (Navil) est plus faible que pour *Homo sapiens* et les autres Néandertaliens. Il faut être vigilant dans nos interprétations car cette analyse a été réalisée avec peu de spécimens.

L'axe 1 exprime 66.9% de la variance totale, et est représentatif de l'inclinaison de la surface articulaire pour le cunéiforme intermédiaire du naviculaire (Navil = 49.2°), de la torsion proximo-distale intermédiaire du naviculaire (NaviT = 105.3°) et de l'inclinaison de la tête du col du talus (TalNI = 15.1°). L'axe 2 exprime 20.1% de la variance totale, et est représentatif de l'orientation relative des surfaces articulaires proximale et distale du cunéiforme intermédiaire (Cf2D = 102.3°), de la torsion du cunéiforme intermédiaire (Cf2T = 85.6°), de la déclinaison et de l'inclinaison du cunéiforme intermédiaire (Cf2I = 102.3°), de la torsion et de la déclinaison de la tête et du col du talus (TalHT = 33.1° et TalND = 106.9°).

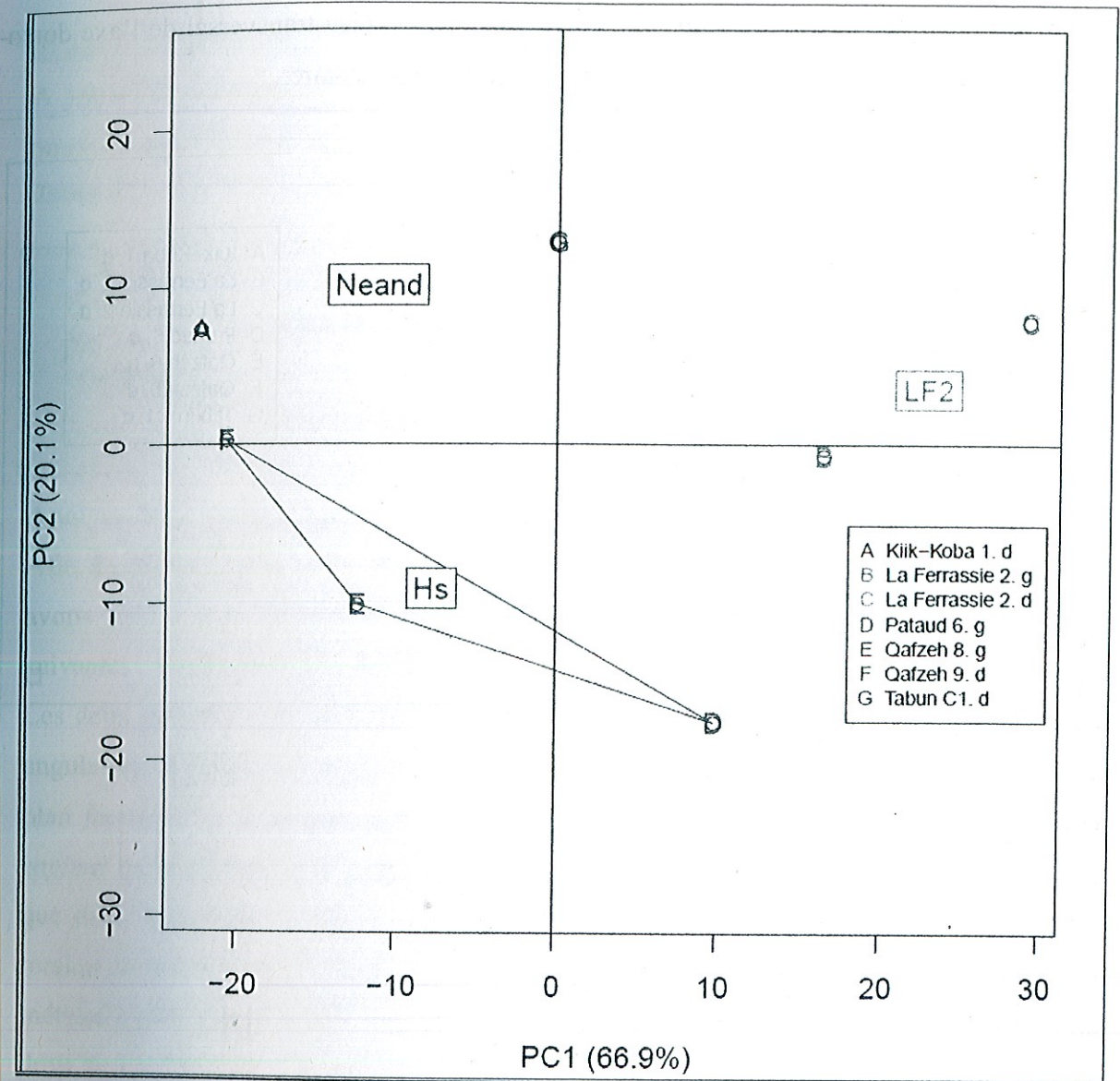


Figure 46 : Analyse en Composantes Principales selon les axes principaux 1 et 2 de la colonne articulaire II

Analyse de la colonne articulaire III (figure 47) :

Afin de mieux apprécier la répartition des spécimens les uns par rapport aux autres, nous avons réalisé une analyse en composantes principales, à partir des variables angulaires suivantes : NavII, NavIT, TalHT, TalNI, Cf3I, Cf3D, Mt3D et Mt3I.

Les deux premiers axes de l'ACP expliquent 71.7% de la variance totale. Lorsque les valeurs angulaires de la colonne articulaire III du pied droit de La Ferrassie 2 sont projetées dans le plan factoriel 1 - 2 de son ACP, cette colonne se positionne en dehors des nuages d'*Homo sapiens* et des autres Néandertaliens, mais restent très proches de ceux-ci, et même plus proches de celui des Néandertaliens que des *Homo sapiens*. Il faut être vigilant dans nos interprétations car cette analyse a été réalisée avec peu de spécimens.

L'axe 1 exprime 48.7% de la variance totale, et est représentatif de l'inclinaison de la surface articulaire pour le cunéiforme latéral du naviculaire (NavII = 48.8°). L'axe 2 exprime 23% de

la variance totale, et est représentatif de l'orientation dans le plan transversal de l'axe dorso-plantaire de la surface articulaire du cunéiforme latéral du naviculaire.

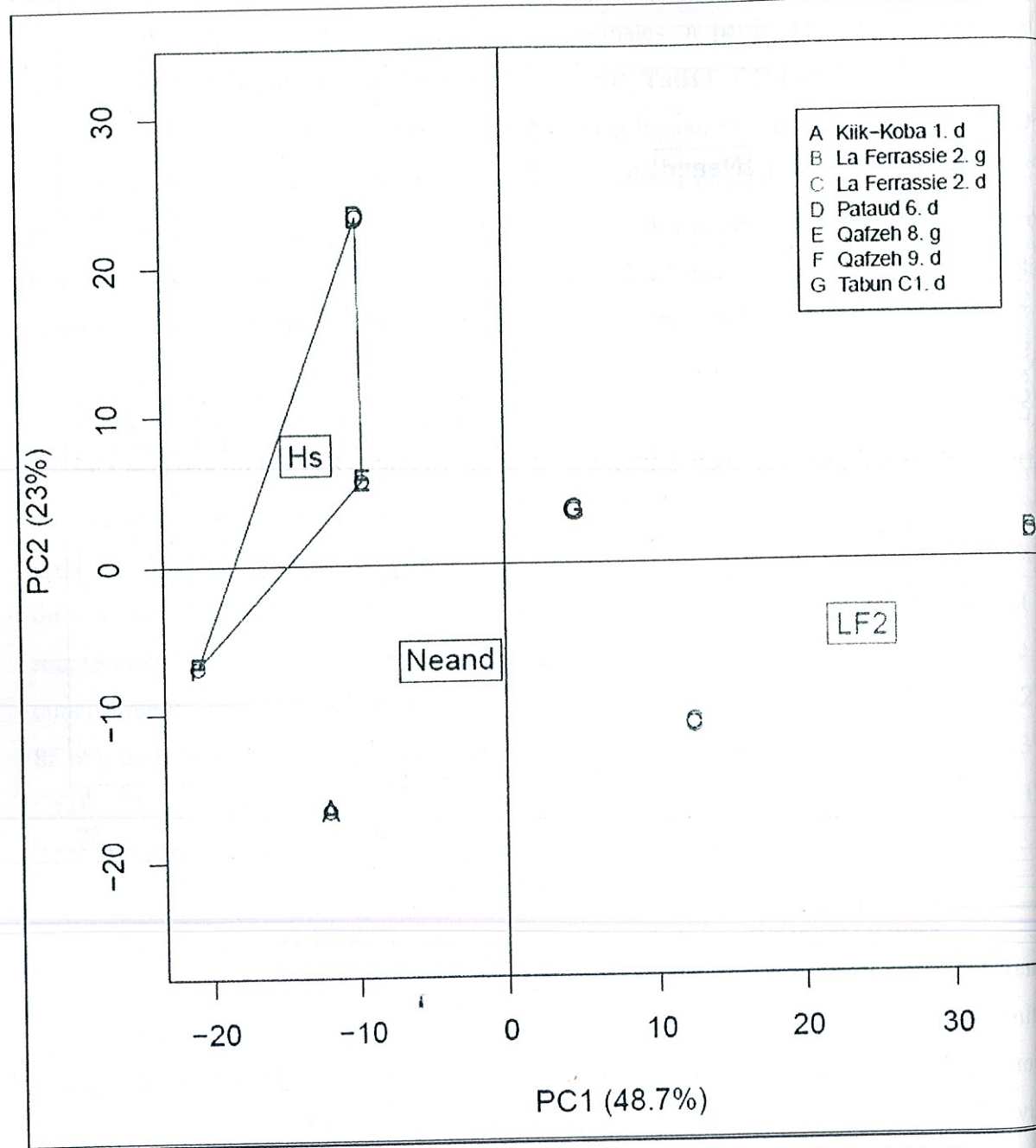


Figure 47 : Analyse en Composantes Principales selon les axes principaux 1 et 2 de la colonne articulaire III

b) Squelette latéral (tableau 12) :

A partir des composantes angulaires des différents os d'une même colonne articulaire, nous pouvons tenter d'identifier une structure architecturale.

Tableau 12 : Liste des variables angulaires utilisées pour les analyses en composantes principales des colonnes articulaires IV et V du pied droit de La Ferrassie 2

| Squelette latéral | colonne articulaire IV | Calcanéum | Cuboïde | Métatarsiens |
|-----------------------|------------------------|-----------|---------|--------------|
| | | CalTI | Cub4I | Mt4I |
| colonne articulaire V | CalCul | Cub4D | Mt4D | |
| | CalCuD | | Mt4T | |
| | CalTI | Cub5I | Mt5I | |
| | CalCul | Cub5D | Mt5D | |
| | CalCuD | | Mt5T | |

Analyse de la colonne articulaire IV (figure 48) :

Afin de mieux apprécier la répartition des spécimens les uns par rapport aux autres, nous avons réalisé une analyse en composantes principales, à partir des variables angulaires suivantes : CalTI, Mt4D et Mt4I.

Les deux premiers axes de l'ACP expliquent 78% de la variance totale. Lorsque les valeurs angulaires de la colonne articulaire IV du pied droit de La Ferrassie 2 sont projetées dans le plan factoriel 1 - 2 de son ACP, cette colonne se positionne en dehors du nuage d'*Homo sapiens* mais extrêmement proches de celui des autres Néandertaliens, bien qu'il n'y en ait que deux spécimens. L'axe 1, exprimant 42% de la variance totale, est représentatif de la torsion du métatarsien IV (Mt4T = 119°). De plus, cet axe est représentatif de l'inclinaison du métatarsien IV (Mt4I = 90°). En effet, les valeurs angulaires de la colonne articulaire du pied droit de La Ferrassie 2 sont proches du nuage des autres Néandertaliens, mais plus éloignées de celui d'*Homo sapiens*. L'axe 2, quant à lui, exprime 36% de la variance totale, et est représentatif de la torsion proximo-distale du calcanéum (CalTI = 68.6°). Lorsqu'elles sont projetées selon l'axe 2, les valeurs angulaires de la colonne articulaire IV du pied droit de La Ferrassie 2 se situent en-dehors du nuage des autres Néandertaliens et de celui d'*Homo sapiens*, mais restent néanmoins assez proches, et surtout des Néandertaliens. Cette position peut s'expliquer car la colonne articulaire IV du pied droit de La Ferrassie 2 diffère de celle d'*Homo sapiens* par un caractère particulier ; l'inclinaison du métatarsien IV (Mt4I = 90°). En effet, celle-ci est nulle, alors que pour *Homo sapiens*, l'inclinaison maximale et plantaire correspond au métatarsien IV.

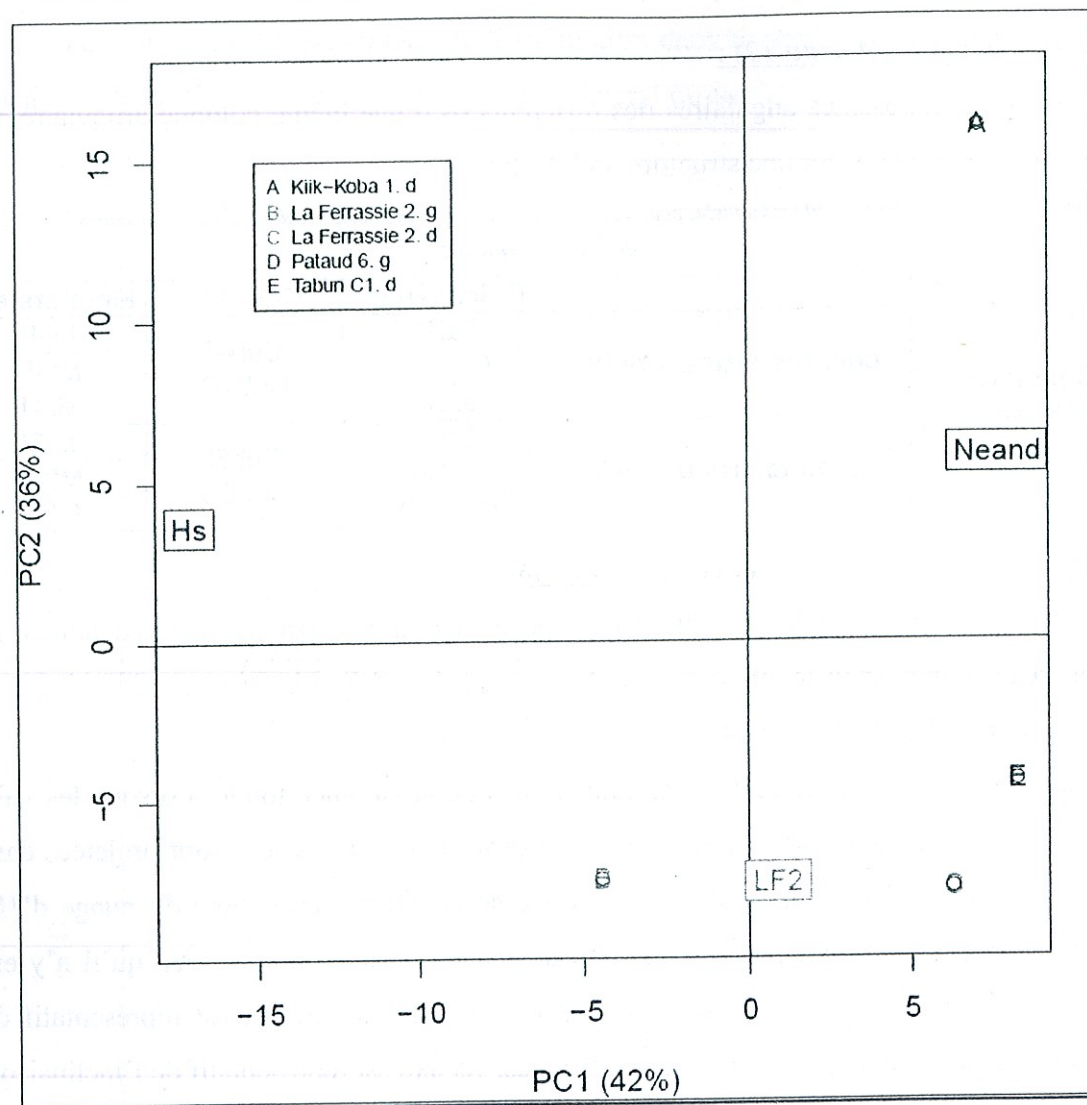


Figure 48 : Analyse en Composantes Principales selon les axes principaux 1 et 2 de la colonne articulaire IV

Analyse de la colonne articulaire V (figure 49) :

Afin de mieux apprécier la répartition des spécimens les uns par rapport aux autres, nous avons réalisé une analyse en composantes principales, à partir des variables angulaires suivantes : **Cub5D**, **CalCuI**, **Mt5I** et **Mt5T**.

Les deux premiers axes de l'ACP expliquent 96.5% de la variance totale. Lorsque les valeurs angulaires de la colonne articulaire IV du pied droit de La Ferrassie 2 sont projetées dans le plan factoriel 1 - 2 de son ACP, elles se positionnent en dehors des nuages d'*Homo sapiens* et des autres Néandertaliens. Il faut être vigilant dans nos interprétations car cette analyse a été réalisée avec très peu de spécimens. L'axe 1 exprime 55.4% de la variance totale, et est représentatif de la torsion et de l'inclinaison du métatarsien V ($Mt5T = 117.4^\circ$ et $Mt5I = 99.2^\circ$). L'axe 2 exprime 41.1% de la variance totale, et est représentatif de l'inclinaison de la surface articulaire cuboïdienne du calcaneum ($CalCuI = 107.6^\circ$) et de la déclinaison cuboïde pour le métatarsien V ($Cub5D = 35.1^\circ$).

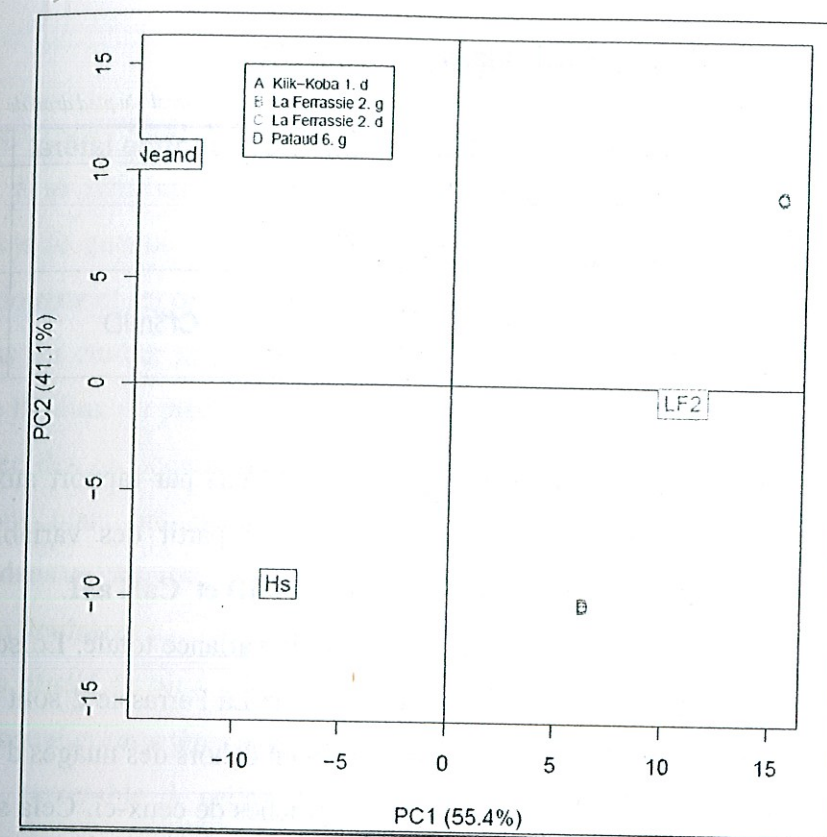


Figure 49 : Analyse en Composantes Principales selon les axes principaux 1 et 2 de la colonne articulaire V

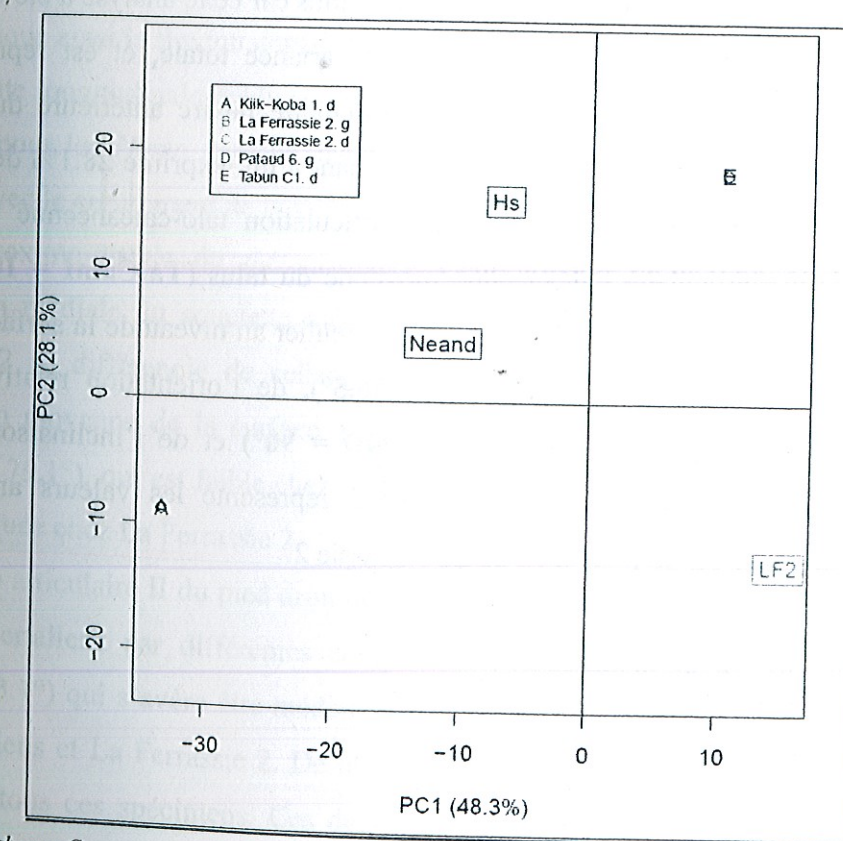


Figure 50 : Analyse en Composantes Principales selon les axes principaux 1 et 2 des relations entre le squelette médial et le squelette latéral

c) Relations entre les squelettes médial et latéral (*tableau 13*):

Tableau 13 : Liste des variables angulaires utilisées pour les ACP des squelettes médial et latéral du pied droit de La Ferrassie 2

| | Talus | Calcanéum | Cunéiforme latéral | Cuboïde |
|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------|
| Transversalement | TalCapI | CalTapI | | CubmpI |
| | TalCamI | CalTamI | | |
| | TalCaal | CalTaal | | |
| Horizontalement | TalCapD TalCaad | CalTapD CalTaaD | Cf3mID | CubpmD |

Analyse (figure 50) :

Afin de mieux apprécier la répartition des spécimens les uns par rapport aux autres, nous avons réalisé une analyse en composantes principales, à partir des variables angulaires suivantes : **TalCamI**, **TalCapI**, **CalTaaD**, **CubmpI**, **Cf3mID** et **CalTaaI**.

Les deux premiers axes de l'ACP expliquent 76.4% de la variance totale. Lorsque les valeurs angulaires des squelettes médial et latéral du pied droit de La Ferrassie 2 sont projetées dans le plan factoriel 1 – 2 de son ACP, elles se positionnent en dehors des nuages d'*Homo sapiens* et des autres Néandertaliens, mais restent cependant proches de ceux-ci. Cela signifie que les relations régissant les squelettes médial et latéral sont les mêmes chez *Homo sapiens* et chez La Ferrassie 2. Il faut être vigilant dans nos interprétations car cette analyse a été réalisée avec peu de spécimens. L'axe 1 exprime 48.3% de la variance totale, et est représentatif de l'inclinaison et de la déclinaison de la surface articulaire talaire antérieure du calcanéum (**CalTaaI** = 73.6° et **CalTaaD** = 76.9°). L'axe 2, quant à lui, exprime 28.1% de la variance totale, et est représentatif de l'inclinaison de l'articulation talo-calcanéenne moyenne au niveau de la surface articulaire calcanéenne moyenne du talus (**TalCamI** = 106.9°), de la déclinaison de l'articulation talo-calcanéenne en particulier au niveau de la surface articulaire talaire postérieure du calcanéum (**CalTapD** = 56.5°), de l'orientation relative des faces latérale et médiale du cunéiforme latéral (**Cf3mID** = 90°) et de l'inclinaison de la face médiale du cuboïde (**CubmpI** = 97.1°). L'axe 2 représente les valeurs angulaires des squelettes médial et latéral du pied droit de La Ferrassie 2.

Synthèse et Discussion

Le passage du pied droit de La Ferrassie 2 dans un scanner CT nous a permis d'avoir accès aussi bien à sa structure interne qu'externe tout en ayant respecté et conservé le fossile original dans sa gangue de sédiments. Ceci nous a permis pour la première fois de décrire morphologiquement les os constitutifs de ce pied, afin d'essayer d'en apprécier l'architecture. Nous avons pu étudier la forme de la voûte plantaire et de ses trois arches, ainsi que la position de l'hallux du pied droit de La Ferrassie 2. Cette étude a été effectuée en comparant ce pied avec des os podaux d'autres Néandertaliens et ceux d'*Homo sapiens* fossiles. Ces comparaisons nous ont permis de dégager des caractéristiques principales, qui seront expliquées dans ce chapitre.

Colonnes articulaires :

Nous avons étudié le pied selon les colonnes articulaires, pour lesquelles nous avons pu déterminer certains caractères angulaires. En effet, la colonne articulaire I du pied droit de La Ferrassie 2 ressemble à celles d'*Homo sapiens* et des Néandertaliens par différentes composantes, notamment l'obliquité dorsale de la surface articulaire pour le cunéiforme médial du naviculaire qui est faible pour les *Homo sapiens*, les Néandertaliens et La Ferrassie 2, et explique ainsi la flexion dorsale de la première colonne articulaire, traduisant la présence d'une voûte longitudinale médiale. De plus, la torsion de la tête du talus (**TalHT** = 33.1°) est marquée pour les *Homo sapiens*, les Néandertaliens et La Ferrassie 2 et doit être mise en relation avec le creusement de la voûte transversale du pied, et par conséquent avec une faible torsion proximo-distale du métatarsien I. Cette torsion de la tête du talus prouve une inclinaison médiale du squelette médial distal. Néanmoins, la colonne articulaire I de La Ferrassie 2 se différencie de celles d'*Homo sapiens* et des autres Néandertaliens par la déclinaison moyenne de la surface articulaire pour le métatarsien I du cunéiforme médial (**Cf1mD** = 79.1°), qui est faible chez *Homo sapiens* et les autres Néandertaliens, mais s'avère assez marquée chez La Ferrassie 2.

La colonne articulaire II du pied droit de La Ferrassie 2 ressemble à celles d'*Homo sapiens* et des Néandertaliens par différentes composantes, notamment la torsion du métatarsien II (**Mt2T** = 83.1°) qui s'avère être médiale et faible, voire modérée chez les *Homo sapiens*, les Néandertaliens et La Ferrassie 2. De plus, la torsion de la tête du talus (**TalHT** = 33.1°) est forte pour tous ces spécimens. Ces deux torsions expliquent l'adduction du premier et du second rayon, caractéristique d'*Homo sapiens*. Néanmoins, La Ferrassie 2 se différencie d'*Homo sapiens* et des autres Néandertaliens par l'obliquité dorsale de la surface articulaire

pour le cunéiforme intermédiaire du naviculaire qui est faible chez *Homo sapiens* et les autres Néandertaliens, et assez marquée chez La Ferrassie 2. Cette obliquité joue un rôle important dans le degré de flexion dorsale de la deuxième colonne articulaire.

La colonne articulaire III du pied droit de La Ferrassie 2 ressemble à celles d'*Homo sapiens* et des Néandertaliens par différentes composantes, notamment la torsion de la tête du talus (TalHT = 33.1°) qui s'avère être médiale marquée chez les *Homo sapiens*, les Néandertaliens et La Ferrassie 2. De plus, la torsion du métatarsien III (Mt3T = 122.8°) est médiale, la déclinaison de la surface articulaire métatarsienne du cunéiforme latéral (Cf3D = 72.5°) est faible, traduisant une réduction de la divergence latérale de ce métatarsien par rapport à l'articulation trochléenne. Néanmoins, La Ferrassie 2 se différencie d'*Homo sapiens* et des autres Néandertaliens par l'inclinaison dorsale de la surface articulaire pour le cunéiforme latéral (NavII = 48.8°) qui est marquée pour *Homo sapiens* et les autres Néandertaliens mais encore plus marquée pour La Ferrassie 2. Cette inclinaison intervient fortement dans la flexion dorsale de la colonne articulaire III.

Relations entre le squelette médial et le squelette latéral :

Nous avons ensuite étudié le pied droit de La Ferrassie 2 selon le squelette médial, puis selon le squelette latéral. Le squelette médial du pied droit de La Ferrassie 2 ressemble à celui d'*Homo sapiens* grâce à différents caractères, notamment transversalement, la torsion de la tête du talus (TalHT = 33.1°) qui est proximale, et avec la torsion proximo-distale des métatarsiens II et III (Mt2T = 83.1° et Mt3T = 122.8°). En effet, le degré d'opposition des deux colonnes articulaires réside moins dans la torsion médiale du métatarsien I (Mt1T = 119.7°) que dans la torsion elle aussi médiale des métatarsiens II et III (Mt2T = 83.1° et Mt3T = 122.8°). De plus, longitudinalement, la flexion dorsale se retrouve réduite pour les trois colonnes articulaires, traduisant ainsi une voûte longitudinale médiale, et horizontalement, les surfaces articulaires proximale et distale du cunéiforme médial s'avèrent être parallèles. La position frontale de la surface articulaire pour le métatarsien I prouve que la colonne articulaire I est pratiquement complètement adductée. Le squelette latéral du pied droit de La Ferrassie 2 ressemble à celui d'*Homo sapiens* grâce à différents caractères, notamment toujours transversalement, la torsion proximo-distale des métatarsiens IV et V (Mt4T = 119.7° et Mt5T = 117.4°) qui est médiale, projetant ainsi l'axe dorso-plantaire de l'articulation métatarso-phalangienne dans un plan vertical. Celui-ci s'oppose à l'inclinaison latérale plantaire des articulations calcanéocuboïdienne et cuboïdo-métatarsienne. De plus, longitudinalement, l'inclinaison de la surface articulaire cuboïdienne du calcaneus (CalCI = 107.6°) qui s'avère être fortement plantaire, amenant ainsi le squelette latéral distal

plantairement et médialement. Néanmoins, La Ferrassie 2 se différencie d'*Homo sapiens* et des autres Néandertaliens par transversalement, la torsion proximo-distale du calcaneus (CalTI = 68.6°) qui est faible chez *Homo sapiens* et les autres Néandertaliens, mais plutôt moyenne chez La Ferrassie 2. Cette torsion traduit une voûte transversale marquée proximale. Cette torsion du calcaneus projette le squelette latéral distal (cuboïde et métatarsiens) dans un plan oblique latéralement et plantairement. Pour La Ferrassie 2, le squelette latéral distal est moins projeté. Ce squelette latéral distal correspond aux articulations calcanéocuboïdienne et cuboïdo-métatarsienne. De plus, le squelette latéral du pied droit de La Ferrassie 2 diffère de celui d'*Homo sapiens* par un caractère particulier, à savoir l'inclinaison des axes d'allongement des métatarsiens IV et V, qui est nulle pour le métatarsien IV (Mt4I = 90°) et plantaire pour le métatarsien V (Mt5I = 99.2°). Chez *Homo sapiens*, les deux inclinaisons sont plantaires et celle du métatarsien IV est plus marquée que celle pour le métatarsien V. Comme l'inclinaison du métatarsien IV, combinée avec celle de la surface articulaire cuboïdienne du calcaneus, joue un rôle important dans la structure longitudinale voûtée du pied latéral. Ainsi, comme l'inclinaison du métatarsien IV est beaucoup moins marquée que celle du métatarsien V chez La Ferrassie 2, alors l'arche transversale latérale est plus faible, moins accentuée que celle d'*Homo sapiens*.

Caractéristiques architecturales du pied droit de La Ferrassie 2 :

Pour le squelette médial, transversalement, la torsion de la tête du talus (TalHT = 33.10°) traduit la présence d'une arche transversale proximale marquée, comme chez *Homo sapiens*, la torsion proximo-distale du cunéiforme médial (Cf1T = 106°) traduit la présence d'une arche transversale distale très faible, alors que pour *Homo sapiens*, celle-ci est marquée. De plus, la torsion proximo-distale des métatarsiens I, II et III (Mt1T = 119.70°, Mt2T = 95.30° et Mt3T = 122.80°) induit que les têtes de ces métatarsiens sont parallèles, comme chez *Homo sapiens*. Longitudinalement, l'inclinaison dorsale des surfaces articulaires cunéiformes du naviculaire (NavmI = 77.90°, NavmII = 49.20° et NavmIII = 48.80°) traduit la présence d'une arche longitudinale médiale peu marquée, alors que pour *Homo sapiens*, cette arche est plus marquée. Horizontalement, la déclinaison moyenne de la surface articulaire pour le métatarsien I du cunéiforme médial (Cf1mD = 79.10°) traduit que l'hallux est très faiblement abducté, alors que pour *Homo sapiens*, l'hallux est moins abducté.

Pour le squelette latéral, transversalement, la torsion proximo-distale du calcaneus (CalTI = 68.60°) traduit la présence d'une moyenne arche transversale latérale, et joue un rôle important dans la présence de l'arche longitudinale latérale, alors que pour *Homo sapiens*, cette arche est forte, la torsion proximo-distale des métatarsiens IV et V (Mt4T = 119° et

Mt5T = 117.40°) traduit la présence d'une arche transversale, comme chez *Homo sapiens*. De plus, la torsion proximo-distale du cuboïde (CubT = 85.20°) traduit la réduction de l'arche transversale latérale, comme chez *Homo sapiens*. Longitudinalement, l'inclinaison de la surface articulaire cuboïdienne du calcaneum (CalCuI = 107.60°) traduit la présence d'une voûte longitudinale marquée ainsi que la réduction de la divergence latérale des métatarsiens IV et V, comme chez *Homo sapiens*, l'inclinaison des métatarsiens IV et V (Mt4I = 90° Mt5I = 99.20°) traduit la présence d'une arche longitudinale latérale marquée ainsi que la réduction de la divergence latérale des métatarsiens IV et V, comme chez *Homo sapiens*. Horizontalement, la déclinaison de la surface articulaire pour le métatarsien V du cuboïde (Cub5D = 35.10°) traduit la présence d'une arche longitudinale latérale, comme chez *Homo sapiens*.

Ainsi, la voûte plantaire du pied droit de La Ferrassie 2 a pu être identifiée. Elle est composée comme chez *Homo sapiens*, de trois arches ; la transversale, la longitudinale médiale et la longitudinale latérale. L'arche transversale paraît moyenne car sa partie proximale est marquée et sa partie distale est très faible. L'arche longitudinale médiale est peu marquée, l'arche longitudinale latérale est marquée. En ce qui concerne la position de l'hallux par rapport aux autres colonnes articulaires du pied, il s'est avéré que celui-ci est très peu abducté.

Conclusion

L'ensemble des résultats obtenus durant cette étude permet d'apporter de nouvelles informations concernant la morphologie des os podaux, l'architecture du pied droit de La Ferrassie 2, par rapport à la forme de sa voûte plantaire, c'est-à-dire de ses trois arches plantaires, ainsi que par rapport à la position de son hallux. Ce fossile est l'un des spécimens les plus remarquables du squelette postcrânien des Néandertaliens, puisqu'il est presque complet (21 os retrouvés sur 26), et a été retrouvé encore en connexion anatomique. Cette conservation nous permet d'apporter de nouveaux éléments sur le fait qu'il ait été enseveli volontairement et très rapidement après sa mort, puisque les premières connexions anatomiques, qui sont détruites très rapidement lors de la décomposition du corps sont encore présentes (Gargett, 1999).

Pour la première fois, nous avons pu réaliser une description morphologique complète de tous les os retrouvés dans la gangue de sédiments, en utilisant une technique non invasive (CT scanner), nous permettant de préserver ce fossile dans son état actuel, de le dégager virtuellement et ainsi d'avoir accès à la structure interne et externe des os de ce pied.

Par ailleurs, après avoir comparé ces os avec ceux de certains fossiles d'*Homo sapiens*, nous avons trouvé quelques différences architecturales dans les arches formant la voûte plantaire.

Le pied droit de La Ferrassie 2 possède une voûte plantaire qui est composée de trois arches. L'arche transversale est composée de deux parties ; la proximale et la distale. La partie proximale est marquée. La partie distale diffère de celle d'*Homo sapiens* car elle est très faible. De plus, l'arche longitudinale médiale est différente, puisque peu marquée, et l'hallux apparaît très faiblement abducté. Enfin, l'arche longitudinale latérale est semblable à celle d'*Homo sapiens*.

Chez *Homo sapiens*, les arches transversales proximale et distale, ainsi que les arches longitudinales médiale et latérale sont toutes marquées. L'hallux est totalement adducté.

Ces différences d'architectures du pied de La Ferrassie 2 ont-elles des conséquences sur la locomotion de cet individu ? Modifiaient-elles la marche, la station bipède, ou encore la course, le maintien sur différents types de terrains ? Toutes ces questions nous ouvrent de nouvelles perspectives, auxquelles de prochaines études devraient pouvoir apporter quelques réponses. Il pourrait être intéressant d'étudier la structure interne des os, afin de comprendre comment s'orientent leurs trabécules et quelles sont leurs dimensions. De plus, la reconstruction virtuelle fonctionnelle des membres inférieurs des Néandertaliens (multibody

dynamic) permettrait de modéliser la locomotion grâce aux insertions des muscles, à l'interaction (Chapman, 2010).

Bibliographie

- Balzeau A. et al. 2010.** *Applications des méthodes d'imagerie en paléanthropologie : apports en termes de préservation, gestion et développement des collections.* C.R. Palevol 9, pp. 265-276.
- Beckett R.G. et Conlogue G.J. 2010.** *Paleoimaging : field applications for cultural remains and artifacts.* CRC Press, 440 p.
- Bérillon G. 2000.** *Le pied des Hominoïdes miocènes et des Hominidés fossiles; Architecture, locomotion, évolution.* CNRS éditions, 154 p.
- Capitan L. 1902.** *Station paléolithique de La Ferrassie (Dordogne).* Bulletins de la société d'anthropologie de Paris, V^e série, tome 3, pp. 730-731.
- Capitan L. et Peyrony D. 1912.** *Trois nouveaux squelettes humains fossiles.* Comptes-rendus des séances de l'année, Académie des inscriptions et belles-lettres, 56^e année 6, pp. 449-454.
- Chapman T. et al. 2010.** *Reconstruction virtuelle d'un modèle de membres inférieurs de Néandertalien avec une estimation des moments musculaires des muscles ischiojambiers.* C.R. Palevol 9, pp. 445-454.
- Cohen C. 2007.** *Les Néandertaliens, Biologie et cultures : Néandertal, histoire des découvertes et des interprétations.* Editions du CTHS, pp. 15-31.
- Defleur A. et al. 1999.** *Neanderthal cannibalism at Moula-Guercy, Ardèche, France.* Science 286, pp. 128-131.
- Delporte H. 1976.** *Livret guide A4, sud-ouest (Aquitaine et Charente), sous la direction de Rigaud JP. et Vandermeersch B.* IX^e congrès de l'Union Internationale des Sciences Préhistoriques et Protohistoriques, UNESCO, pp. 88-89.
- Delporte H. 1984.** *Le Grand abri de la Ferrassie : fouilles 1968-1973.* Ed. du Laboratoire de paléontologie humaine et de préhistoire, 227 p.
- Dobzhanski T. 1944.** *On species and races of living and fossil man.* American Journal of Physical Anthropology 2, pp. 251-265.

dynamic) permettrait de modéliser la locomotion grâce aux insertions des muscles, à l'interaction (Chapman, 2010).

Bibliographie

- Balzeau A. et al. 2010.** *Applications des méthodes d'imagerie en paléanthropologie : apports en termes de préservation, gestion et développement des collections.* C.R. Palevol 9, pp. 265-276.
- Beckett R.G. et Conlogue G.J. 2010.** *Paleoimaging : field applications for cultural remains and artifacts.* CRC Press, 440 p.
- Bérillon G. 2000.** *Le pied des Hominoïdes miocènes et des Hominidés fossiles; Architecture, locomotion, évolution.* CNRS éditions, 154 p.
- Capitan L. 1902.** *Station paléolithique de La Ferrassie (Dordogne).* Bulletins de la société d'anthropologie de Paris, V^e série, tome 3, pp. 730-731.
- Capitan L. et Peyrony D. 1912.** *Trois nouveaux squelettes humains fossiles.* Comptes-rendus des séances de l'année, Académie des inscriptions et belles-lettres, 56^e année 6, pp. 449-454.
- Chapman T. et al. 2010.** *Reconstruction virtuelle d'un modèle de membres inférieurs de Néandertalien avec une estimation des moments musculaires des muscles ischiojambiers.* C.R. Palevol 9, pp. 445-454.
- Cohen C. 2007.** *Les Néandertaliens, Biologie et cultures : Néandertal, histoire des découvertes et des interprétations.* Editions du CTHS, pp. 15-31.
- Defleur A. et al. 1999.** *Neanderthal cannibalism at Moula-Guercy, Ardèche, France.* Science 286, pp. 128-131.
- Delporte H. 1976.** *Livret guide A4, sud-ouest (Aquitaine et Charente), sous la direction de Rigaud JP. et Vandermeersch B.* IX^e congrès de l'Union Internationale des Sciences Préhistoriques et Protohistoriques, UNESCO, pp. 88-89.
- Delporte H. 1984.** *Le Grand abri de la Ferrassie : fouilles 1968-1973.* Ed. du Laboratoire de paléontologie humaine et de préhistoire, 227 p.
- Dobzhanski T. 1944.** *On species and races of living and fossil man.* American Journal of Physical Anthropology 2, pp. 251-265.

Dobzhanski T. 1963. *Genetic entities in hominid evolution.* Classifications in hominid evolution, Aldine, pp. 347-362.

Fajardo R.J. et Müller R. 2001. *Three-dimensional analysis of nonhuman primate trabecular architecture using micro-computed tomography.* American Journal of Physical Anthropology 115, pp. 327-336.

Fraipont J. et Lohest M. 1887. *La race humaine de Neandertal ou de Canstadt en Belgique.* Recherches ethnographiques sur des ossements humains découverts dans les dépôts quaternaires d'une grotte à Spy et détermination de leur âge géologique. Archives de biologie 7, pp. 587-757.

Gargett R.H. 1999. *Middle Palaeolithic burial is not a dead issue : the view from Qafzeh, Saint-Cézaire, Kebara, Amud and Dederiyeh.* Journal of Human Evolution 37, pp. 27-90.

Heim JL. 1976. *Les hommes fossiles de La Ferrassie, Tome 1, Le gisement, les squelettes adultes (crâne et squelette du tronc).* Archives de l'Institut de Paléontologie Humaine, MASSON éditions, 331 p.

Heim JL. 1982. *Les hommes fossiles de La Ferrassie, Tome 2, Le squelette des membres.* Archives de l'Institut de Paléontologie Humaine, MASSON éditions, 272 p.

Hounsfield G.N. 1975. *Computerized transverse axial scanning (tomography). 1. Description of system.* The British Journal of Radiology 46, pp. 1016-1022.

Howell F.C. 1952. *Pleistocene glacial ecology and the evolution of « classic Neandertal » man.* Journal of Anthropology 8, pp. 377-410.

Howell F.C. 1957. *The evolutionary significance of variations and varieties of "Neandertal" man.* Quaterly Review of Biology 32, pp. 330-347.

Hrdlička A. 1927. *The Neandertal phase of man.* Journal of the Royal Anthropological Institute 56, pp. 249-274.

Hublin J.J. 2007. *Les Néandertaliens, Biologie et cultures : Origine et évolution des Néandertaliens.* Editions du CTHS, pp. 95-107.

Huxley T.H. 1863. *Man's place in nature.* The modern library, 186 p.

King W. 1864. *The reputed fossil man of the Neandertal.* Quaterly Review of Science 1, pp. 88-97.

Martin H. 1923. *L'homme fossile de La Quina.* Archives de morphologie générale et expérimentale, 260 p.

Martin R. et Saller K. 1957. *Lehrbuch der Anthropologie.* Bd 1. Fischer G Verlag.

Maureille B. et Van Peer P. 1998. *Une donnée peu connue sur la sépulture du premier adulte de La Ferrassie (Savignac-de-Miremont).* Paléo 10, pp. 291-301.

Patte E. 1955. *Les Néandertaliens. Anatomie, physiologie, comparaisons.* Masson, 559 p.

Peyrony D. 1934. *La Ferrassie : Moustérien, Périgordien, Aurignacien.* La Préhistoire, tome 3, pp. 1-92.

Schaaffhausen H. 1858. *On the crania of the most ancient races of men,* trad. Busk G. Natural History Review 8, pp. 155-172.

Spoor W. et al., 1993. *Linear measurements of cortical bone and dental enamel by computed tomography : applications and problems.* American Journal of Physical Anthropology 91, pp. 469-484.

Thoma A. 1965. *La définition des Néandertaliens et la position des hominidés fossiles de Palestine.* L'Anthropologie 69, pp. 517-534.

Trinkaus E. 1983. *The Shanidar neandertals.* Academic Press, 502 p.

Vandermeersch B. 2005. *Ce que nous apprennent les premières sépultures.* Comptes-rendus Palévol 5, pp. 161-167.

Weidenreich F. 1946. *Apes, giants and man.* The university of Chicago press, 122 p.

White T.D. et Folkens P.A. 2005. *The human bone manual.* Academy press, 488 p.

Liste des figures

Figure 1: La Ferrassie, localisation géographique

Figure 2: Reconstitution du plan général du niveau moustérien dans la partie fouillée du grand abri et positionnement des différents squelettes, tel que ce niveau était représenté par Denis Peyrony en 1934

Figure 3: Coupe du grand abri de La Ferrassie, d'après Peyrony, 1934

Figure 4: Photographie en vue supérieure du pied droit de La Ferrassie 2

Figure 5: Principe de fonctionnement d'un CT scanner

Figure 6: Visualisation du pied droit de La Ferrassie 2, après acquisition au CT scanner

Figure 7: Etape de segmentation manuelle grâce à l'outil "pinceau"

Figure 8: Etape de segmentation manuelle grâce à l'outil "pinceau", selon les trois vues

Figure 9: Compilation des données 2D en 3D, grâce à l'outil "SurfaceGen"

Figure 10: Visualisation de l'objet en 3D grâce à l'outil "SurfaceView"

Figure 11: Talus (A: vue dorsale; B: vue plantaire; C: vue postérieure; D: vue antérieure; E: vue latérale; F: vue médiale)

Figure 12: Calcanéum (A: vue dorsale; B: vue plantaire; C: vue postérieure; D: vue antérieure; E: vue latérale; F: vue médiale)

Figure 13: Cuboïde (A: vue médiale; B: vue latérale; C: vue dorsale; D: vue plantaire; E: vue postérieure; F: vue antérieure)

Figure 14: Naviculaire (A: vue postérieure; B: vue antérieure)

Figure 15: Cunéiforme médial (A: vue médiale; B: vue latérale; C: vue dorsale; D: vue plantaire; E: vue postérieure; F: vue antérieure)

Figure 16: Cunéiforme intermédiaire (A: vue latérale; B: vue médiale; C: vue dorsale; D: vue plantaire; E: vue postérieure; F: vue antérieure)

Figure 17: Cunéiforme latéral (A: vue latérale; B: vue médiale; C: vue dorsale; D: vue plantaire; E: vue postérieure; F: vue antérieure)

Figure 18: Vue dorsale des métatarsiens (A: premier métatarsien; B: second métatarsien; C: troisième métatarsien; D: quatrième métatarsien et E: cinquième métatarsien)

Figure 19: Métatarsien I (A: vue dorsale; B: vue plantaire; C: vue latérale; D: vue médiale; E: vue antérieure; F: vue postérieure)

Figure 20: Métatarsien II (A: vue dorsale; B: vue plantaire; C: vue latérale; D: vue médiale; E: vue antérieure; F: vue postérieure)

Figure 21: Métatarsien III (A: vue dorsale; B: vue plantaire; C: vue latérale; D: vue médiale; E: vue antérieure; F: vue postérieure)

Figure 22: Métatarsien IV (A: vue dorsale; B: vue plantaire; C: vue latérale; D: vue médiale; E: vue antérieure; F: vue postérieure)

Figure 23: Métatarsien V (A: vue dorsale; B: vue plantaire; C: vue latérale; D: vue médiale; E: vue antérieure; F: vue postérieure)

Figure 24: Vue dorsale des phalanges de La Ferrassie 2 (A: phalanges proximales; B: phalanges intermédiaires)

Figure 25: Phalange intermédiaire pour le métatarsien II (A: vue dorsale; B: vue plantaire; C: vue latérale; D: vue médiale; E: vue antérieure; F: vue postérieure) (échelle: centimètre)

Figure 26: Phalange intermédiaire pour le métatarsien III (A: vue dorsale; B: vue plantaire; C: vue latérale; D: vue médiale; E: vue antérieure; F: vue postérieure) (échelle: centimètre)

Figure 27: Phalange intermédiaire pour le métatarsien IV (A: vue dorsale; B: vue plantaire; C: vue latérale; D: vue médiale; E: vue antérieure; F: vue postérieure) (échelle: centimètre)

Figure 28: Phalange proximale pour le métatarsien I (A: vue dorsale; B: vue plantaire; C: vue latérale; D: vue médiale; E: vue antérieure; F: vue postérieure) (échelle: centimètre)

Figure 29: Phalange proximale pour le métatarsien II (A: vue dorsale; B: vue plantaire; C: vue latérale; D: vue médiale; E: vue antérieure; F: vue postérieure) (échelle: centimètre)

Figure 30: Phalange proximale pour le métatarsien III (A: vue dorsale; B: vue plantaire; C: vue latérale; D: vue médiale; E: vue antérieure; F: vue postérieure) (échelle: centimètre)

Figure 31: Phalange proximale pour le métatarsien IV (A: vue dorsale; B: vue plantaire; C: vue latérale; D: vue médiale; E: vue antérieure; F: vue postérieure) (échelle: centimètre)

Figure 32: Phalange proximale pour le métatarsien V (A: vue dorsale; B: vue plantaire; C: vue latérale; D: vue médiale; E: vue antérieure; F: vue postérieure) (échelle: centimètre)

Figure 33: Vue dorsale du sésamoïde droit, apparenté au métatarsien I, de La Ferrassie 2

Figure 34: Profils architecturaux des talus pour le squelette médial

Figure 35: Profils architecturaux des talus pour le squelette latéral

Figure 36: Analyse en Composantes Principales selon les axes principaux 1 et 2, des talus

Figure 37: Profils architecturaux des calcanéums pour le squelette latéral

Figure 38: Profils architecturaux des calcanéums pour le squelette médial

Figure 39: Analyse en Composantes Principales selon les axes principaux 1 et 2, des calcanéums

Figure 40: Profils architecturaux des cuboïdes

Figure 41: Analyse en Composantes Principales selon les axes principaux 1 et 2, des cuboïdes

Figure 42: Profils architecturaux des naviculaires

Figure 43: Profils architecturaux des cunéiformes

Figure 44: Profils architecturaux des métatarsiens

Figure 45: Analyse en Composantes Principales selon les axes principaux 1 et 2, de la colonne articulaire I

Figure 46: Analyse en Composantes Principales selon les axes principaux 1 et 2, de la colonne articulaire II

Figure 47: Analyse en Composantes Principales selon les axes principaux 1 et 2, de la colonne articulaire III

Figure 48: Analyse en Composantes Principales selon les axes principaux 1 et 2, de la colonne articulaire IV

Figure 49: Analyse en Composantes Principales selon les axes principaux 1 et 2, de la colonne articulaire V

Figure 50: Analyse en Composantes Principales selon les axes principaux 1 et 2, des relations entre le squelette médial et le squelette latéral

Liste des tableaux

Tableau 1: Liste et définitions des angles mesurés sur les os du tarse et du métatarse

Tableau 2: Liste et définitions des résultantes angulaires

Tableau 3: Dimensions et indices du talus droit et du gauche de La Ferrassie 2

Tableau 4: Dimensions et indices du calcaneum droit et du gauche de La Ferrassie 2

Tableau 5: Dimensions et indices du cuboïde droit et du gauche de La Ferrassie 2

Tableau 6: Dimensions et indices du naviculaire droit et du gauche de La Ferrassie 2

Tableau 7: Dimensions et indices des cunéiformes droits et gauches de La Ferrassie 2

Tableau 8: Dimensions et indices des métatarsiens droits et gauches de La Ferrassie 2

Tableau 9: Dimensions et indices des phalanges droits et gauches de La Ferrassie 2

Tableau 10: Dimensions et indices du sésamoïde droit de La Ferrassie 2

Tableau 11: Liste des variables angulaires utilisées pour les analyses en composantes principales des colonnes articulaires I, II et III du pied droit de La Ferrassie 2

Tableau 12: Liste des variables angulaires utilisées pour les analyses en composantes principales des colonnes articulaires IV et V du pied droit de La Ferrassie 2

Tableau 13: Liste des variables angulaires utilisées pour les analyses en composantes principales du squelette médial et du squelette latéral du pied droit de La Ferrassie 2

Annexes

I - Rappels sur la structure anatomique du pied d'Homo sapiens

Annexe 1 – Plans de référence:

Le squelette humain, afin d'être étudié et compris, doit être orienté selon des vues anatomiques conventionnellement acceptées. Ces vues ont été définies par White & Folkens, en 2005 (*figure a*).

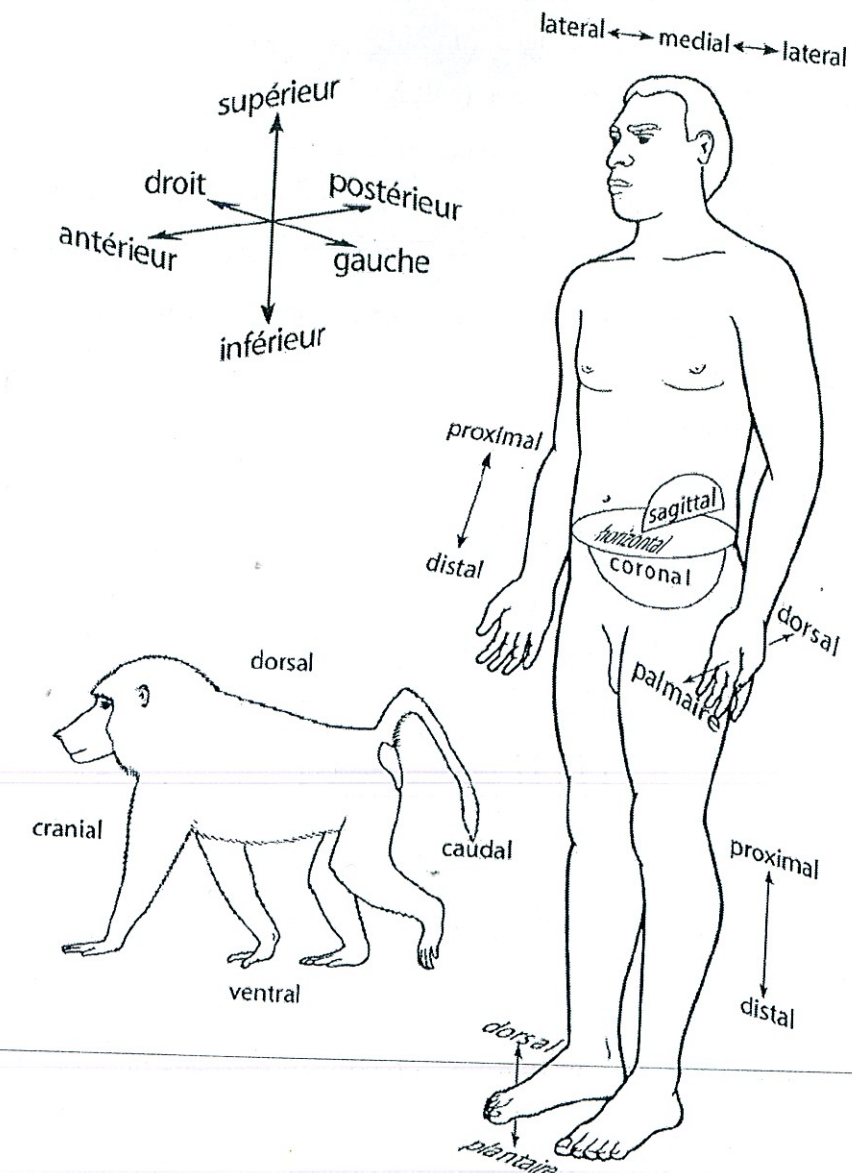


Figure a: Plans et directions d'orientation du corps humain (d'après White & Folkens, 2005).

Annexe 2 - Terminologie anatomique :

a) Les os du pied :

Le squelette du pied de l'homme actuel compte 26 os articulés (*figure b*), qui sont regroupés en trois parties anatomiques ; le tarse, le métatarse et les orteils. Le tarse est composé de 7 os, qui sont : le talus et le calcanéum constituant le tarse proximal, le naviculaire, le cuboïde et les trois cunéiformes (médial, intermédiaire et latéral), qui eux forment le tarse distal. Le métatarse est composé des cinq métatarsiens. Enfin, les orteils regroupent trois rangées de phalanges (proximales, intermédiaires et latérales), pour les métatarses II à V. Pour le métatarse I (hallux), l'orteil ne compte que deux rangées de phalanges. De plus, des os sésamoïdes peuvent être ajoutés à tous ces 26 os articulés. Ces petits os, qui servent à stabiliser le pied, sont situés le plus souvent au niveau de la partie plantaire de l'articulation formée par le premier métatarse et la première phalange du gros orteil. Ils ont une forme ovoïde et irrégulière. Leur nom provient de l'analogie faite avec la graine de sésame.

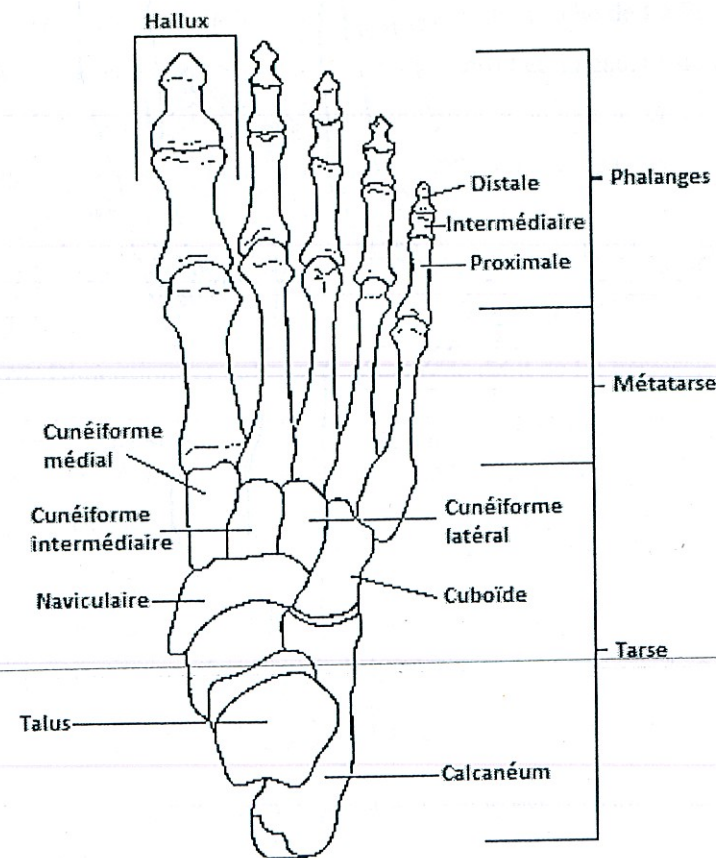


Figure b: Tarse et métatarse droits articulés d'Homo sapiens, en vue dorsale.

Le talus (figure c) :

C'est un os relativement volumineux, dont son allongement est orienté proximo-distalement. Il s'articule dorsalement avec la jambe, plantairement avec le calcanéum et distalement avec le naviculaire.

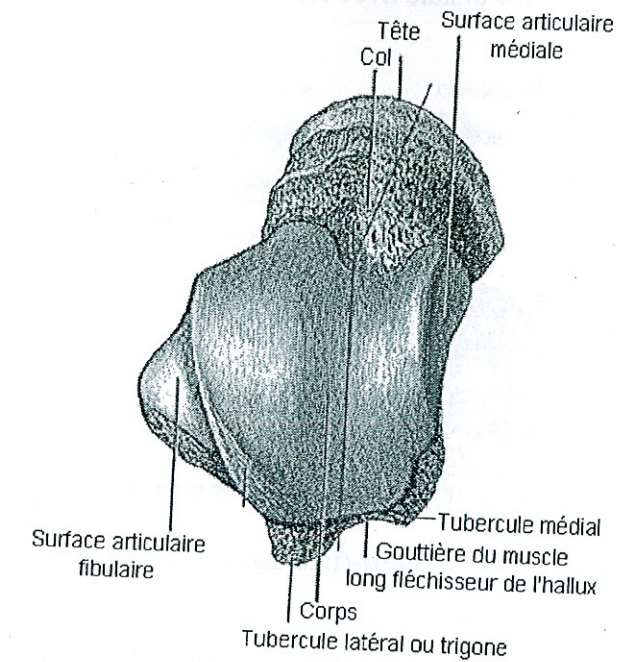


Figure c: Talus gauche d'Homo sapiens, en vue dorsale.

Le calcanéum (figure d) :

C'est l'os du pied le plus proximal, et le plus volumineux. Son allongement est proximo-distal. Il s'articule dorsalement avec le talus, et distalement avec le cuboïde.

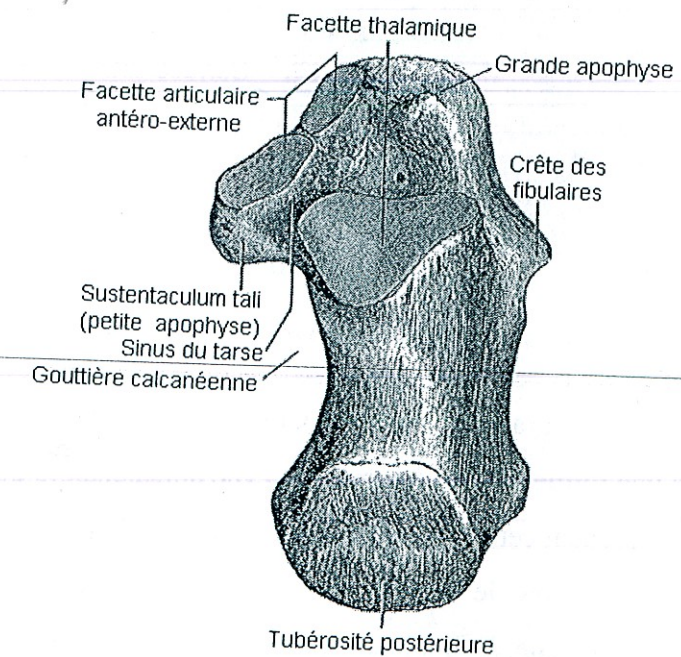


Figure d: Calcaneum droit d'Homo sapiens, en vue dorsale.

Le naviculaire (figure e) :

Son grand axe est médio-latéral, et il est aplati proximo-distalement. Toute sa face proximale s'articule avec le talus, toute sa face distale avec les trois cunéiformes, et le quart latéral de sa face plantaire avec le cuboïde.

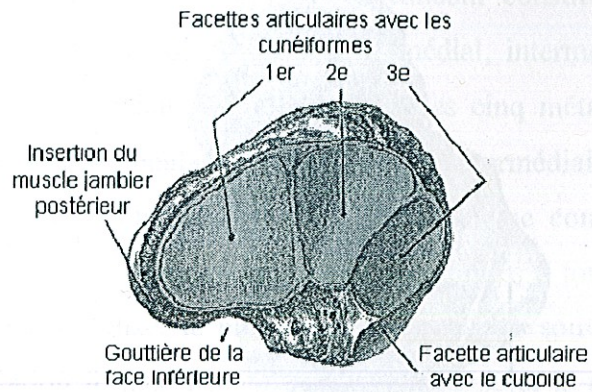


Figure e: Naviculaire droit d'Homo sapiens, en vue distale.

Le cuboïde (figure f) :

Cet os est de forme trapézoïdale en vue dorsale, et de section transversale triangulaire. Toute sa face proximale s'articule avec le calcanéum, toute sa face distale avec les métatarses IV et V, et toute sa face médiale avec le cunéiforme latéral et le naviculaire.

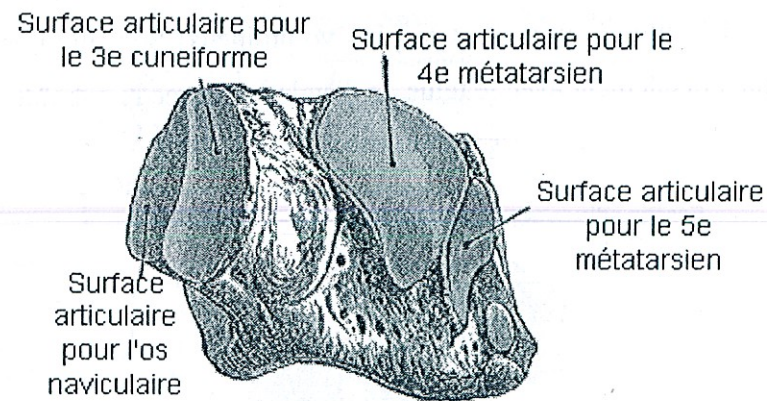


Figure f: Cuboïde droit d'Homo sapiens, en vue distale.

Les cunéiformes (figure g) :

Le cunéiforme médial est le plus grand, et l'intermédiaire est le plus petit. Le cunéiforme médial à une forme de coin à sommet en vue dorsale, alors que les deux autres, intermédiaire et latéral, possèdent cette forme particulière en vue plantaire. Ils s'articulent tous les trois avec le naviculaire sur toute leur face proximale, avec un métatarsien sur toute leur face distale. Enfin, le cunéiforme latéral s'articule sur sa face latérale avec le cuboïde.

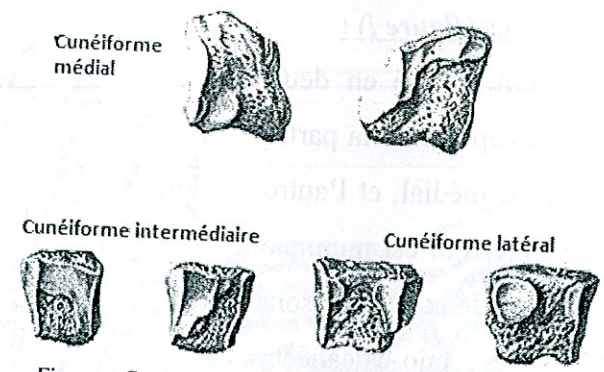


Figure g: Cunéiformes droits d'Homo sapiens, en vue médiale.

Les métatarses (figure h) :

Ils s'articulent d'une part par leur face proximale avec le cuboïde pour le métatarses V, et avec les cunéiformes pour les métatarses I à IV. D'autre part, par leur face distale avec les phalanges proximales. Le premier métatarsien est le plus court et le plus épais. Les métatarsiens II, III et IV sont minces et leurs bases sont plus larges du côté dorsal que plantaire. Enfin, le dernier métatarsien se distingue par le fait que sur sa face latérale il porte une tubérosité.

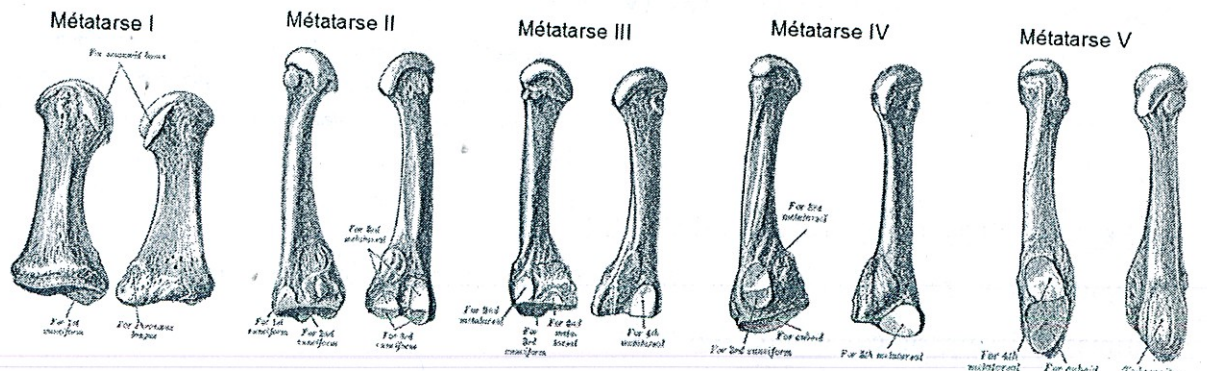


Figure h: Métatarses gauches d'Homo sapiens, en vues médiale (gauche) et latérale (droit).

Les phalanges (figure i) :

Elles sont au nombre de trois rangées de phalanges (proximales, intermédiaires et distales) pour les métatarses II à V, alors que pour le métatarses I, elles ne sont qu'au nombre de deux rangées (proximale et distale). Elles s'articulent, avec les métatarses, par leur face proximale. Pour les phalanges proximales et intermédiaires, elles s'articulent par leur face distale avec les phalanges intermédiaires (pour les phalanges proximales), et avec les phalanges distales (pour les phalanges intermédiaires).

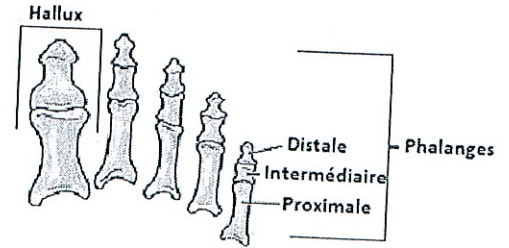


Figure i: Phalanges (proximales, intermédiaires et latérales) d'Homo sapiens, en vue dorsale.

b) Les colonnes ostéo-articulaires (figure j) :

Le squelette du pied peut être divisé en deux parties principales, dont l'une représente la partie médiale et qui est appelée pied médial, et l'autre correspond à la partie latérale et qui est nommée pied latéral ou calcanéen. Ces deux parties sont séparées par les interlignes talo-calcaneen, cuboïdo-naviculo-cunéiforme latéral, ainsi que par la ligne intermétatarsienne III-IV. De même, ces deux parties peuvent être séparées en sous-parties, appelées colonnes ostéo-articulaires. Pour le pied médial, les colonnes ostéo-articulaires correspondent aux métatarses I à III, et pour le pied latéral, les colonnes ostéo-articulaires regroupent les métatarses IV et V.

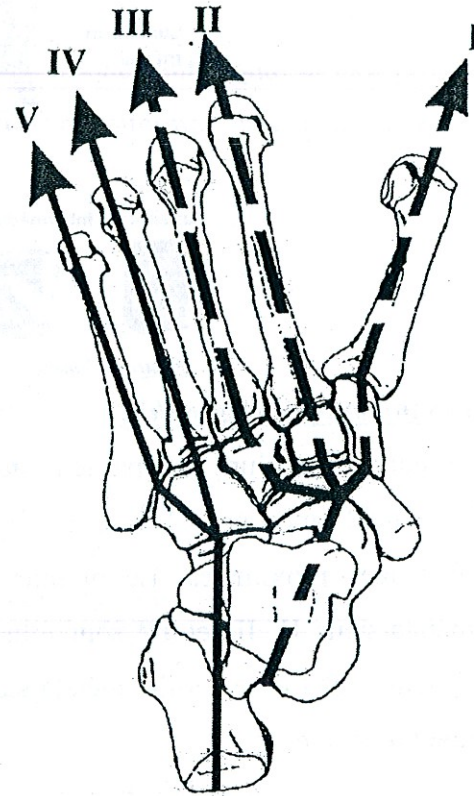


Figure j: Cinq colonnes ostéo-articulaires du pied d'Homo sapiens (les trois colonnes ostéo-articulaires du pied médial sont figurées en pointillés, et celles du pied latéral sont représentées en trait plein).

c) La voûte plantaire (figures k, l, m, n et o) :

La voûte plantaire est soutenue par trois arches, et repose sur le sol par trois points d'appui, définissant l'empreinte plantaire (figure k) :

A : base du métatarsien I

B : base du métatarsien V

C : tubérosités postérieures du calcaneum

Ces trois points d'appui forment un triangle non équilatéral avec trois arches :

AB : arche transverse la plus courte et la plus basse

BC : arche longitudinale latérale

AC : arche longitudinale médiale la plus haute et la plus longue

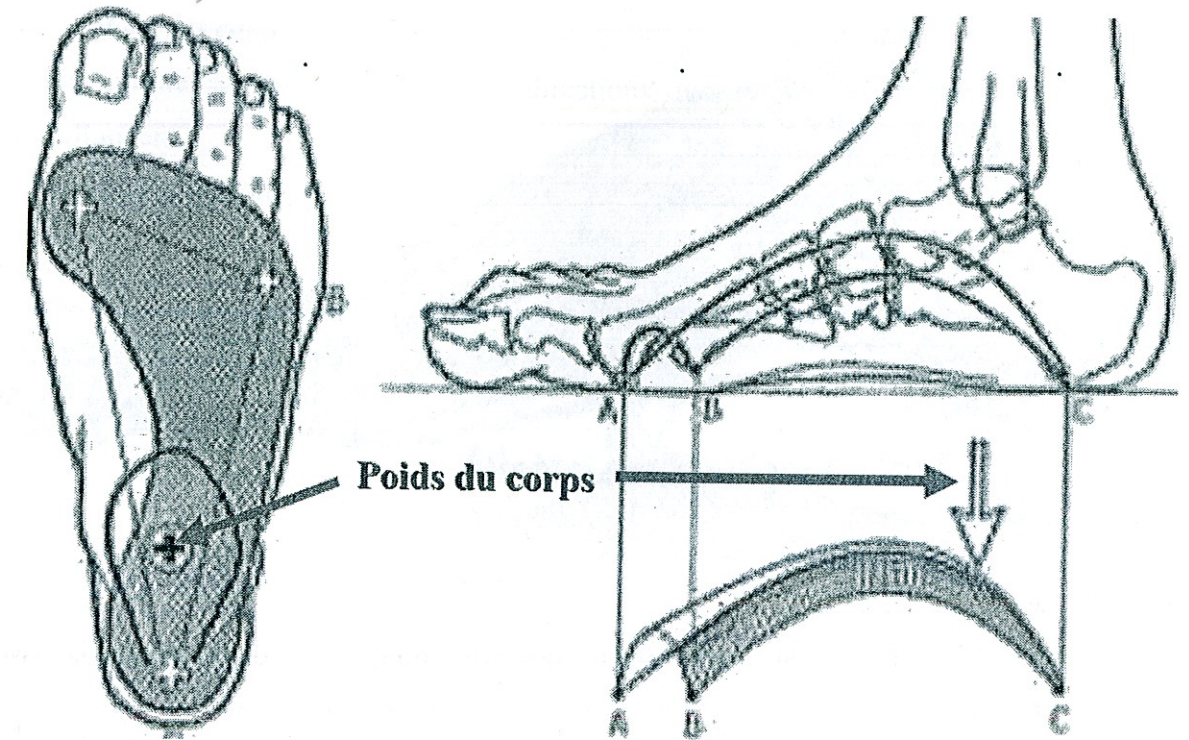


Figure k : Carte des points d'appui du pied sur le sol

Arche longitudinale médiale (figure l) :

Cette arche met en scène le métatarsien I, le cunéiforme médial, le naviculaire, le calcaneum ainsi que le talus qui reçoit les efforts de la jambe et les répartit sur toute la voûte. Elle repose sur le sol par le point A et le point C, à une distance de 15 à 18 mm de celui-ci.

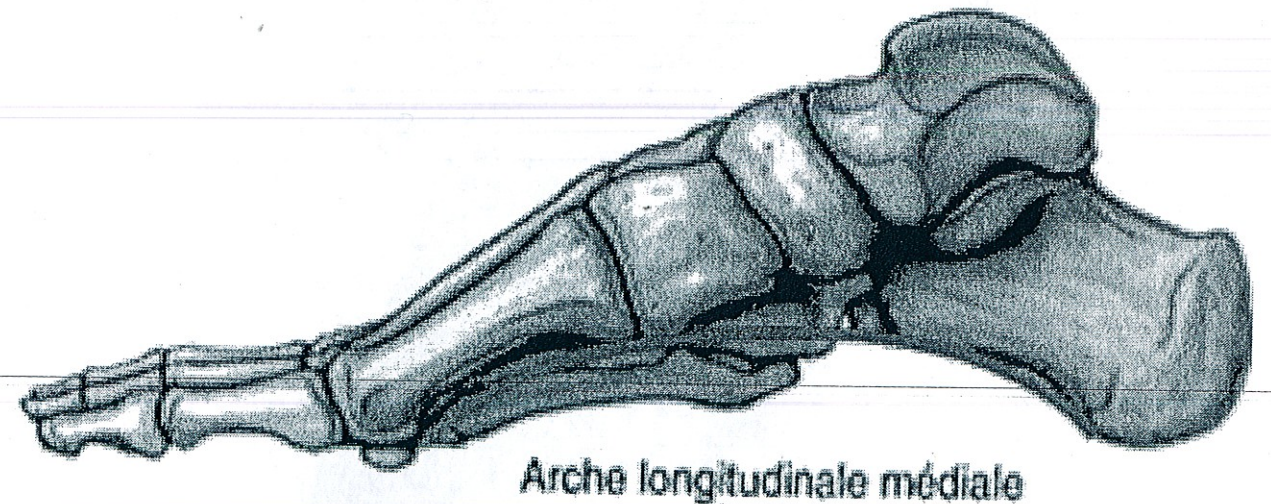
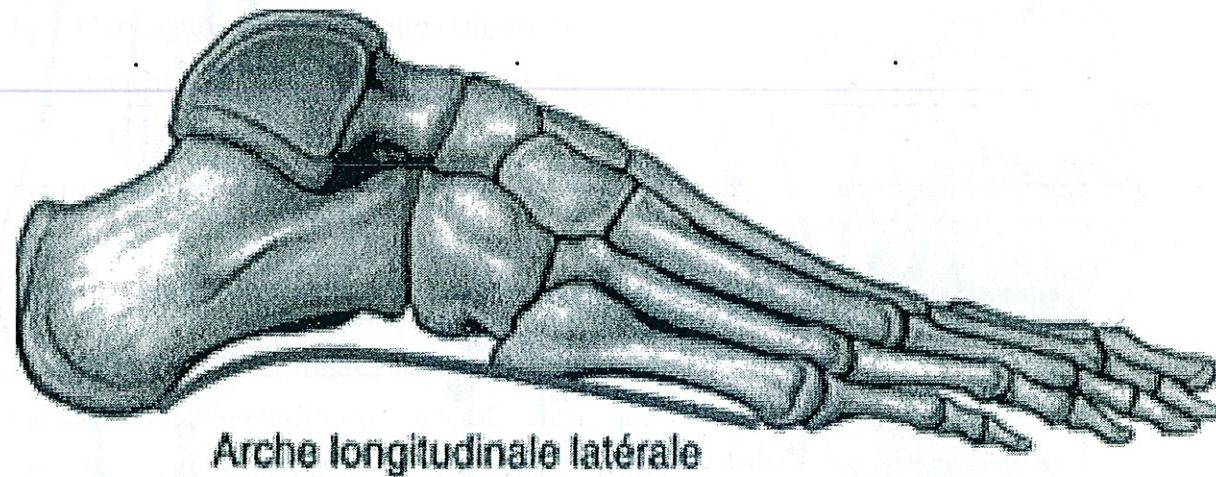


Figure l : Situation de l'arche longitudinale médiale, et les os impliqués

Arche longitudinale latérale (figure m) :

Cette arche met en scène le métatarsien V, le cuboïde et le calcaneum. Elle repose sur le sol par le point B et le point C, à une distance de 3 à 5 mm de celui-ci. Cette arche est rigide, alors que l'arche longitudinale médiale est souple.

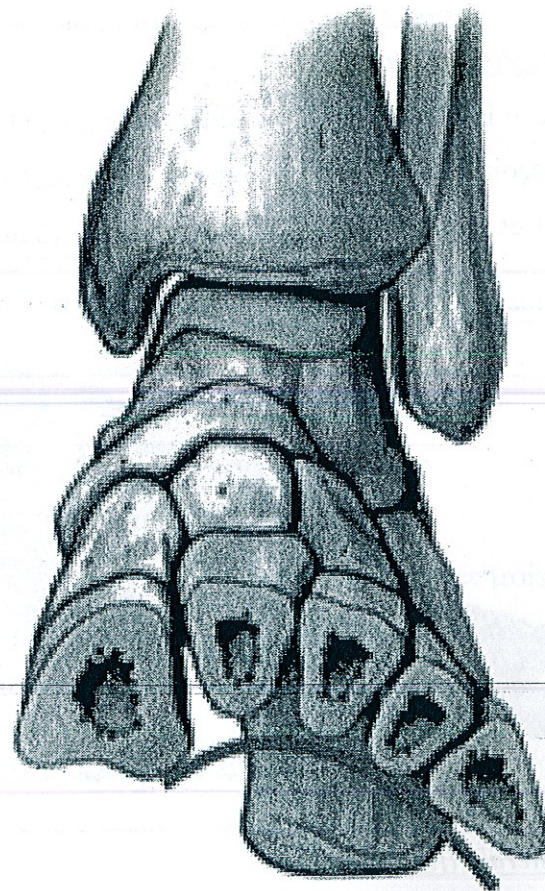


Arche longitudinale latérale

Figure m : Situation de l'arche longitudinale latérale, et les os impliqués

Arche transverse (figure n) :

Cette arche passe par la base des cinq métatarsiens, dont la clé de voûte est la base du métatarsien II. Elle repose sur le sol par le point A et le point B, mais les parties molles permettent un appui sur toute l'arche.



Arche transversale

Figure n : Situation de l'arche transverse, et les os impliqués

Répartition des contraintes (figure o) :

Les contraintes se répartissent dans trois directions, qui sous la charge s'écrasent et s'allongent :

A : transverso-médiale (35%)

B : transverso-latérale (15%)

C : postérieure (50%)

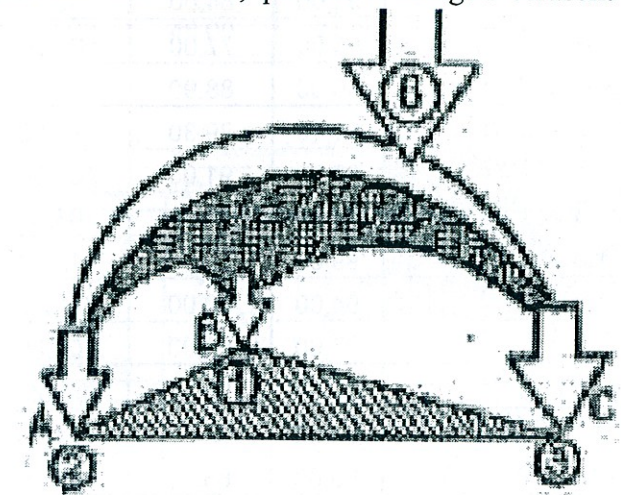


Figure o : Carte des contraintes mises en place par le pied

II – Tableaux des valeurs angulaires des os du squelette podal de La Ferrassie 2 (Annexe 3)

TALUS ⁽¹⁾ : Données d'après Gilles Bérillon, 2000.

| | TalHT | TalND | TalNI |
|---|-------|--------|-------|
| La Ferrassie 1, g | 44,00 | 112,00 | 20,00 |
| La Ferrassie 1, d | 37,00 | 118,00 | 15,00 |
| La Ferrassie 2, g | 34,90 | 109,10 | 18,40 |
| La Ferrassie 2, d | 33,10 | 106,90 | 15,10 |
| Pataud 6, d ⁽¹⁾ | 34,00 | 127,00 | 14,00 |
| Pataud 6, g ⁽¹⁾ | 42,00 | 117,00 | 14,00 |
| Qafzeh 8, g ⁽¹⁾ | 43,00 | 117,00 | 18,00 |
| Qafzeh 9, d ⁽¹⁾ | 34,00 | 113,00 | 19,00 |
| Amud1 ⁽¹⁾ | 51,00 | 105,00 | 17,00 |
| Kiik-Koba 1, d ⁽¹⁾ | 36,00 | 113,00 | 6,00 |
| Krapina 236 ⁽¹⁾ | 38,00 | 115,00 | 17,00 |
| La Chapelle-aux-Saints 1 ⁽¹⁾ | 45,00 | 115,00 | 14,00 |
| Le Regourdou 1, d ⁽¹⁾ | 34,00 | 117,00 | 18,00 |
| Le Regourdou 1, g ⁽¹⁾ | 31,00 | 105,00 | 22,00 |
| Tabun C1, d ⁽¹⁾ | 28,00 | 107,00 | 20,00 |
| Tabun C1, g ⁽¹⁾ | 44,00 | 102,00 | 21,00 |

| | TalTPI | TalCapI | TalCaml | TalCaal | TalCapD | TalCaaD |
|---|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| La Ferrassie 1, g | 97,00 | 84,00 | 109,00 | 123,00 | 52,00 | 64,00 |
| La Ferrassie 1, d | 95,00 | 77,00 | 107,00 | 121,00 | 49,00 | 65,00 |
| La Ferrassie 2, g | 90,00 | 88,90 | 105,70 | 116,90 | 61,90 | 72,10 |
| La Ferrassie 2, d | 91,10 | 89,30 | 106,90 | 116,60 | 60,20 | 72,80 |
| Pataud 6, d ⁽¹⁾ | 95,00 | 91,00 | 101,00 | 110,00 | 45,00 | 72,00 |
| Pataud 6, g ⁽¹⁾ | 93,00 | 94,00 | 103,00 | 110,00 | 51,00 | 82,00 |
| Qafzeh 8, g ⁽¹⁾ | 99,00 | 90,00 | 112,00 | 125,00 | 59,00 | 75,00 |
| Qafzeh 9, d ⁽¹⁾ | 94,00 | 90,00 | 90,00 | 111,00 | 51,00 | 75,00 |
| Amud1 ⁽¹⁾ | 97,00 | 86,00 | 104,00 | 116,00 | 59,00 | 70,00 |
| Kiik-Koba 1, d ⁽¹⁾ | 98,00 | 84,00 | 98,00 | 126,00 | 46,00 | 57,00 |
| Krapina 236 ⁽¹⁾ | 93,00 | 86,00 | 101,00 | 107,00 | 57,00 | 84,00 |
| La Chapelle-aux-Saints 1 ⁽¹⁾ | 98,00 | 88,00 | 105,00 | 119,00 | 59,00 | 75,00 |
| Le Regourdou 1, d ⁽¹⁾ | 94,00 | 86,00 | 107,00 | 113,00 | 41,00 | 71,00 |
| Le Regourdou 1, g ⁽¹⁾ | 91,00 | 90,00 | 98,00 | 111,00 | 48,00 | 74,00 |
| Tabun C1, d ⁽¹⁾ | 94,00 | 88,00 | 91,00 | 110,00 | 39,00 | 85,00 |
| Tabun C1, g ⁽¹⁾ | 97,00 | 83,00 | 87,00 | 121,00 | 50,00 | 73,00 |

CALCANEUM ⁽¹⁾: Données d'après Gilles Bérillon, 2000.

| | CalTI | CalCuD | CalCul |
|---|-------|--------|--------|
| La Ferrassie 1, g | 64,00 | 100,00 | 112,00 |
| La Ferrassie 1, d | 64,00 | 108,00 | 105,00 |
| La Ferrassie 2, g | 68,70 | 98,40 | 98,40 |
| La Ferrassie 2, d | 68,60 | 105,60 | 107,60 |
| Pataud 6, g ⁽¹⁾ | 60,00 | 93,00 | 101,00 |
| Qafzeh 8, g ⁽¹⁾ | 54,00 | 98,00 | 108,00 |
| Qafzeh 9, d ⁽¹⁾ | 52,00 | 98,00 | 95,00 |
| Qafzeh 9, g ⁽¹⁾ | 55,00 | 96,00 | 100,00 |
| Kiik-Koba 1, d ⁽¹⁾ | 47,00 | 100,00 | 107,00 |
| La Chapelle-aux-Saints 1 ⁽¹⁾ | | 106,00 | 100,00 |
| Tabun C1, d ⁽¹⁾ | 67,00 | 106,00 | 104,00 |

| | CalTapI | CalTaml | CalTaal | CalTapD | CalTaaD |
|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| La Ferrassie 1, g | 52,00 | 55,00 | 66,00 | 54,00 | 59,00 |
| La Ferrassie 1, d | 53,00 | | 48,00 | 54,00 | |
| La Ferrassie 2, g | 45,60 | 54,70 | 59,50 | 53,70 | 56,30 |
| La Ferrassie 2, d | 46,80 | 47,60 | 73,60 | 56,50 | 76,90 |
| Pataud 6, g ⁽¹⁾ | 63,00 | 66,00 | 85,00 | 43,00 | 56,00 |
| Qafzeh 8, g ⁽¹⁾ | 58,00 | 74,00 | 95,00 | 52,00 | 58,00 |
| Qafzeh 9, d ⁽¹⁾ | 51,00 | 42,00 | 82,00 | 40,00 | 48,00 |
| Qafzeh 9, g ⁽¹⁾ | 60,00 | 58,00 | 72,00 | 41,00 | 42,00 |
| Kiik-Koba 1, d ⁽¹⁾ | 53,00 | 58,00 | 102,00 | 48,00 | 49,00 |

| | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| La Chapelle-aux-Saints 1 ⁽¹⁾ | | | | 50,00 | 54,00 |
| Le Regourdou 1, d ⁽¹⁾ | | | | 34,00 | 37,00 |
| Tabun C1, d ⁽¹⁾ | 58,00 | 48,00 | 71,00 | 50,00 | 64,00 |

CUBOIDE ⁽¹⁾: Données d'après Gilles Bérillon, 2000.

| | CubmpD | Cub4D | Cub5D | CubT | Cub4I | Cub5I | Cubmpl |
|-------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| La Ferrassie 1, d | 58,00 | 26,00 | 44,00 | | 94,00 | 87,00 | |
| La Ferrassie 2, g | 60,00 | 24,90 | 41,90 | 89,40 | 88,30 | 91,90 | 101,40 |
| La Ferrassie 2, d | 61,50 | 25,50 | 35,10 | 85,20 | 92,40 | 105,80 | 97,10 |
| Pataud 6, d ⁽¹⁾ | 60,00 | 20,00 | 44,00 | 84,00 | 87,00 | 88,00 | 87,00 |
| Pataud 6, g ⁽¹⁾ | 57,00 | 25,00 | 45,00 | 75,00 | 84,00 | 85,00 | 90,00 |
| Kiik-Koba 1, d ⁽¹⁾ | 56,00 | 34,00 | 36,00 | 81,00 | 94,00 | 94,00 | 104,00 |
| Tabun C1, d ⁽¹⁾ | 67,00 | 38,00 | 55,00 | 87,00 | 84,00 | 80,00 | 93,00 |

NAVICULAIRE ⁽¹⁾: Données d'après Gilles Bérillon, 2000.

| | NavmD | NaviD | NavID | NavmT | NaviT | NavIT | NavmI | Navil | NavII |
|-------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| La Ferrassie 1, d | 86,00 | 69,00 | 61,00 | 118,00 | 114,00 | 138,00 | 86,00 | 70,00 | 59,00 |
| La Ferrassie 2, g | 90,00 | 73,10 | 65,40 | 115,50 | 107,30 | 154,10 | 84,90 | 60,80 | 30,20 |
| La Ferrassie 2, d | 88,10 | 68,80 | 67,70 | 107,50 | 105,30 | 153,70 | 77,90 | 49,20 | 48,80 |
| Pataud 6, d ⁽¹⁾ | 89,00 | 76,00 | 59,00 | 118,00 | 109,00 | 145,00 | 92,00 | 77,00 | 71,00 |
| Pataud 6, g ⁽¹⁾ | 93,00 | 76,00 | 68,00 | 101,00 | 102,00 | 149,00 | 87,00 | 69,00 | 61,00 |
| Qafzeh 8, d ⁽¹⁾ | 99,00 | 79,00 | 62,00 | 118,00 | 123,00 | 146,00 | 92,00 | 74,00 | 71,00 |
| Qafzeh 8, g ⁽¹⁾ | 92,00 | 76,00 | 63,00 | 127,00 | 123,00 | 150,00 | 90,00 | 82,00 | 73,00 |
| Qafzeh 9, d ⁽¹⁾ | 86,00 | 79,00 | 55,00 | 136,00 | 130,00 | 167,00 | 104,00 | 91,00 | 83,00 |
| Kiik-Koba 1, d ⁽¹⁾ | 81,00 | 64,00 | 43,00 | 140,00 | 132,00 | 160,00 | 96,00 | 90,00 | 68,00 |
| Tabun C1, d ⁽¹⁾ | 88,00 | 70,00 | 63,00 | 126,00 | 128,00 | 156,00 | 78,00 | 67,00 | 63,00 |

CUNEIFORMES ⁽¹⁾: Données d'après Gilles Bérillon, 2000.

| | Cf1dD | Cf1pD | Cf1T | Cf1I | Cf1mD | Cf2D | Cf2T | Cf2I | Cf3mD | Cf3D | Cf3T | Cf3I |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| La Ferrassie 1, g | 88,00 | 97,00 | 80,00 | 87,00 | 92,50 | 95,00 | 86,00 | 77,00 | 94,00 | 68,00 | 83,00 | 75,00 |
| La Ferrassie 1, d | 86,00 | 96,00 | 83,00 | 79,00 | 91,00 | | | | | | | |
| La Ferrassie 2, g | 73,30 | 84,10 | 101,80 | 93,30 | 78,70 | 97,50 | 85,40 | 81,60 | 99,50 | 71,30 | 73,30 | 76,40 |
| La Ferrassie 2, d | 77,50 | 80,60 | 106,00 | 93,20 | 79,05 | 102,30 | 85,60 | 71,30 | 90,00 | 72,50 | 84,50 | 84,20 |
| Pataud 6, d ⁽¹⁾ | 81,00 | 98,00 | 91,00 | 103,00 | 89,50 | | | | 94,00 | 55,00 | 89,00 | 74,00 |
| Pataud 6, g ⁽¹⁾ | | | | | | 90,00 | 79,00 | 87,00 | 95,00 | 61,00 | 84,00 | 76,00 |
| Qafzeh 8, d ⁽¹⁾ | 75,00 | 86,00 | 94,00 | 97,00 | 80,50 | 90,00 | 90,00 | 85,00 | 90,00 | 73,00 | | |
| Qafzeh 8, g ⁽¹⁾ | 92,00 | 98,00 | 94,00 | 96,00 | 95,00 | 90,00 | 78,00 | 88,00 | 97,00 | 69,00 | 82,00 | 84,00 |
| Qafzeh 9, d ⁽¹⁾ | 82,00 | 93,00 | 87,00 | 95,00 | 87,50 | 95,00 | 80,00 | 80,00 | 93,00 | 72,00 | 77,00 | 82,00 |
| Kiik-Koba 1, d ⁽¹⁾ | 86,00 | 100,00 | 96,00 | 93,00 | 93,00 | 97,00 | 89,00 | 87,00 | 94,00 | 77,00 | 76,00 | 83,00 |
| Tabun C1, d ⁽¹⁾ | 103,00 | 97,00 | 96,00 | 90,00 | 100,00 | 95,00 | 86,00 | 83,00 | 98,00 | 70,00 | 77,00 | 78,00 |
| Tabun C1, g ⁽¹⁾ | | | | | | | | | 101,00 | 68,00 | 85,00 | 71,00 |

METATARSIENS ⁽¹⁾: Données d'après Gilles Bérillon, 2000.

| | Mt1I | Mt1dD | Mt1pD | Mt1T | Mt1mD | Mt2I | Mt2D | Mt2T |
|-------------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| La Ferrassie 1, g | 92,00 | 85,00 | 86,00 | 118,00 | 85,50 | 89,00 | 79,00 | |
| La Ferrassie 1, d | | | | | | 100,00 | 80,00 | |
| La Ferrassie 2, g | 92,80 | 84,60 | 83,40 | 118,90 | 84,00 | 91,10 | 85,40 | 95,30 |
| La Ferrassie 2, d | 92,90 | 83,80 | 83,60 | 119,70 | 83,70 | 91,80 | 74,70 | 83,10 |
| Pataud 6, d ⁽¹⁾ | 90,00 | 94,00 | 76,00 | 93,00 | 85,00 | 92,00 | 84,00 | |
| Pataud 6, g ⁽¹⁾ | 92,00 | 93,00 | 73,00 | 95,00 | 83,00 | 94,00 | 87,00 | 96,00 |
| Qafzeh 8, g ⁽¹⁾ | 91,00 | 88,00 | 76,00 | 98,00 | 82,00 | 89,00 | 75,00 | 85,00 |
| Qafzeh 9, d ⁽¹⁾ | 90,00 | 91,00 | 86,00 | 110,00 | 88,50 | 90,00 | 77,00 | 90,00 |
| Kiik-Koba 1, d ⁽¹⁾ | 87,00 | 93,00 | 77,00 | 98,00 | 85,00 | 87,00 | 75,00 | 100,00 |
| Krapina 244 ⁽¹⁾ | | 90,00 | 87,00 | 69,00 | 18,00 | 78,00 | | |
| Subalyuk 1, d ⁽¹⁾ | | | | | | 96,00 | 80,00 | |
| Tabun C1, d ⁽¹⁾ | 96,00 | 90,00 | 80,00 | 98,00 | 85,00 | 89,00 | 72,00 | 96,00 |

| | Mt3I | Mt3D | Mt3T | Mt4I | Mt4D | Mt4T | Mt5I | Mt5D | Mt5T |
|-------------------------------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|
| La Ferrassie 1, g | 93,00 | 73,00 | | 100,00 | 68,00 | 115,00 | 98,00 | 56,00 | |
| La Ferrassie 1, d | | | | | | | 98,00 | 63,00 | |
| La Ferrassie 2, g | 89,30 | 81,40 | 96,90 | 93,10 | 79,10 | 112,10 | 91,70 | 48,00 | 116,60 |
| La Ferrassie 2, d | 88,50 | 69,40 | 122,80 | 90,00 | 71,80 | 119,00 | 99,20 | 54,90 | 117,40 |
| Pataud 6, d ⁽¹⁾ | 92,00 | 82,00 | 106,00 | | | | 92,00 | 56,00 | 114,00 |
| Pataud 6, g ⁽¹⁾ | 92,00 | 84,00 | | 102,00 | 88,00 | 122,00 | 91,00 | 57,00 | 119,00 |
| Qafzeh 8, g ⁽¹⁾ | 85,00 | 77,00 | 109,00 | 102,00 | 74,00 | | 82,00 | 51,00 | 123,00 |
| Qafzeh 9, d ⁽¹⁾ | 91,00 | 70,00 | 108,00 | | | | 93,00 | 57,00 | 93,00 |
| Qafzeh 9, g ⁽¹⁾ | | | | | | | 95,00 | 61,00 | 102,00 |
| Kiik-Koba 1, d ⁽¹⁾ | 91,00 | 75,00 | 119,00 | 95,00 | 73,00 | 114,00 | 87,00 | 63,00 | 120,00 |
| Krapina 249,1 ⁽¹⁾ | | | | | | | 94,00 | 59,00 | 115,00 |
| Subalyuk 1, g ⁽¹⁾ | | | | 99,00 | 77,00 | 110,00 | | | |
| Subalyuk 1, d ⁽¹⁾ | 88,00 | 80,00 | 82,00 | | | | | | |
| Tabun C1, d ⁽¹⁾ | 96,00 | 78,00 | 98,00 | 98,00 | 71,00 | 113,00 | 90,00 | 48,00 | |

III – Planches des restes du squelette de La Ferrassie 2 (Annexe 4)

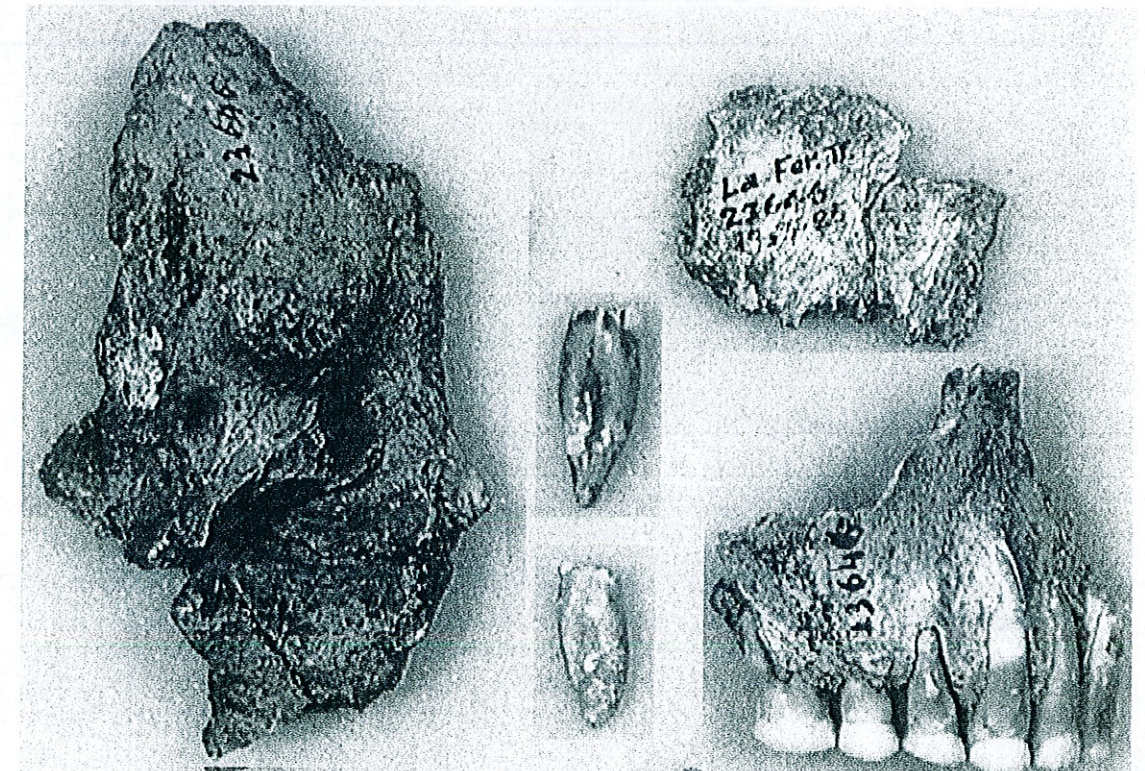


Planche 1 : Restes crâniens

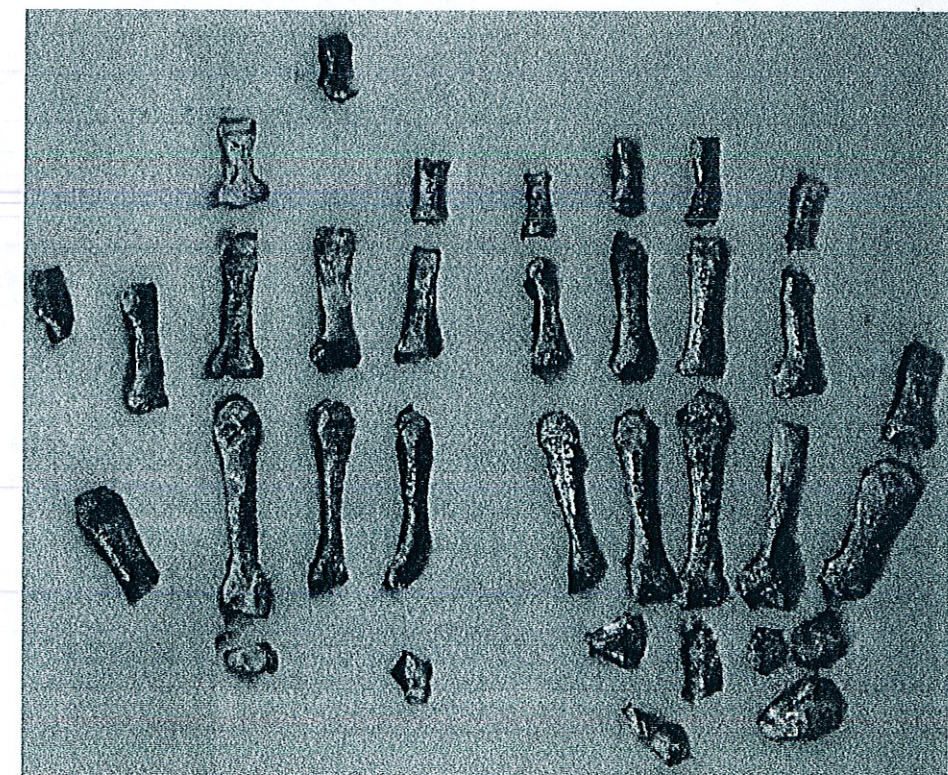


Planche 2 : Main gauche et main droite



Planche 3 : Restes de la ceinture scapulaire

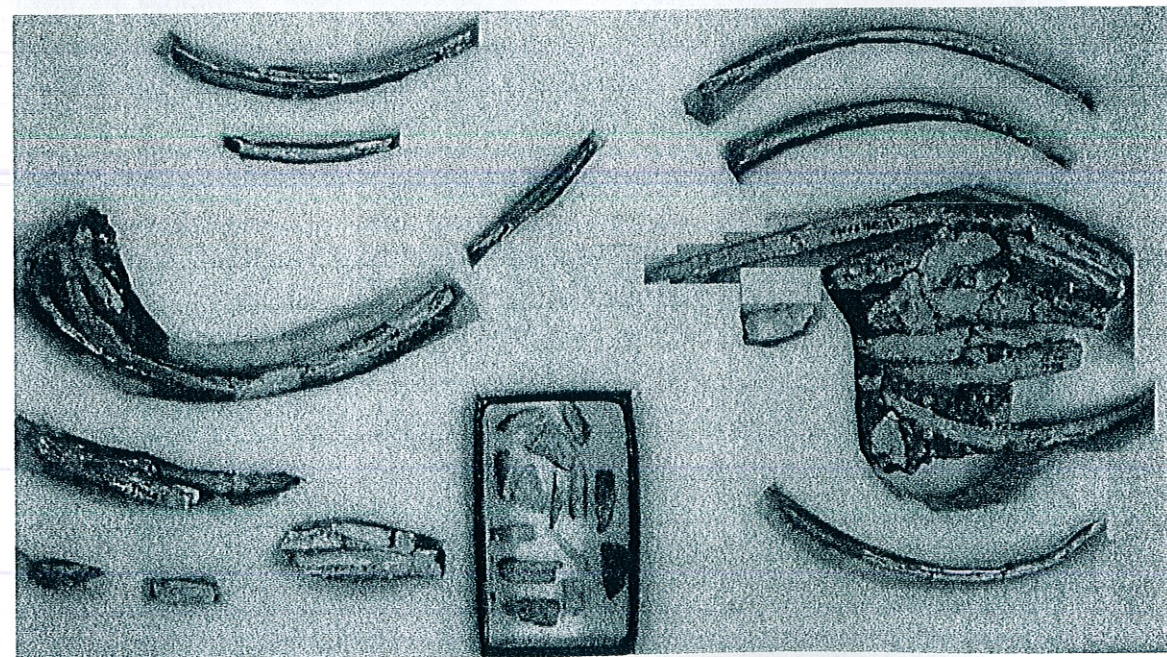


Planche 4 : Restes des côtes

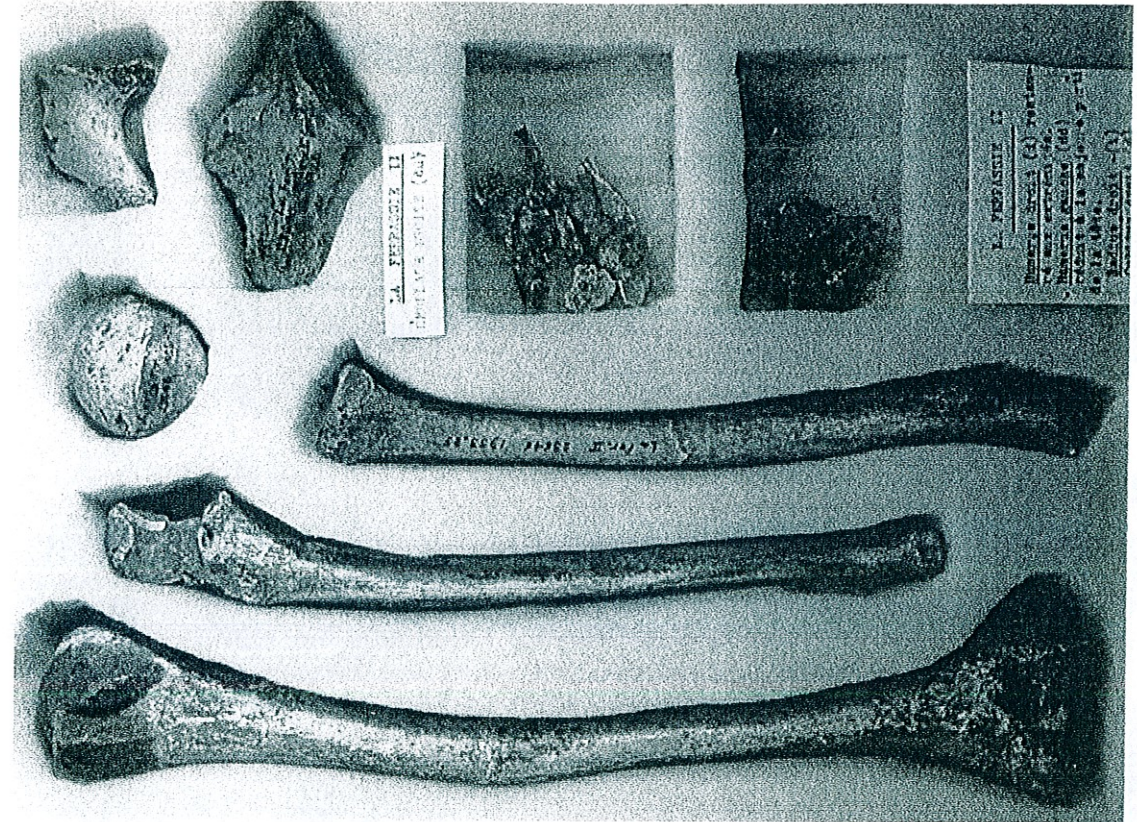


Planche 5 : Membre supérieur droit



Planche 6 : Restes des vertèbres

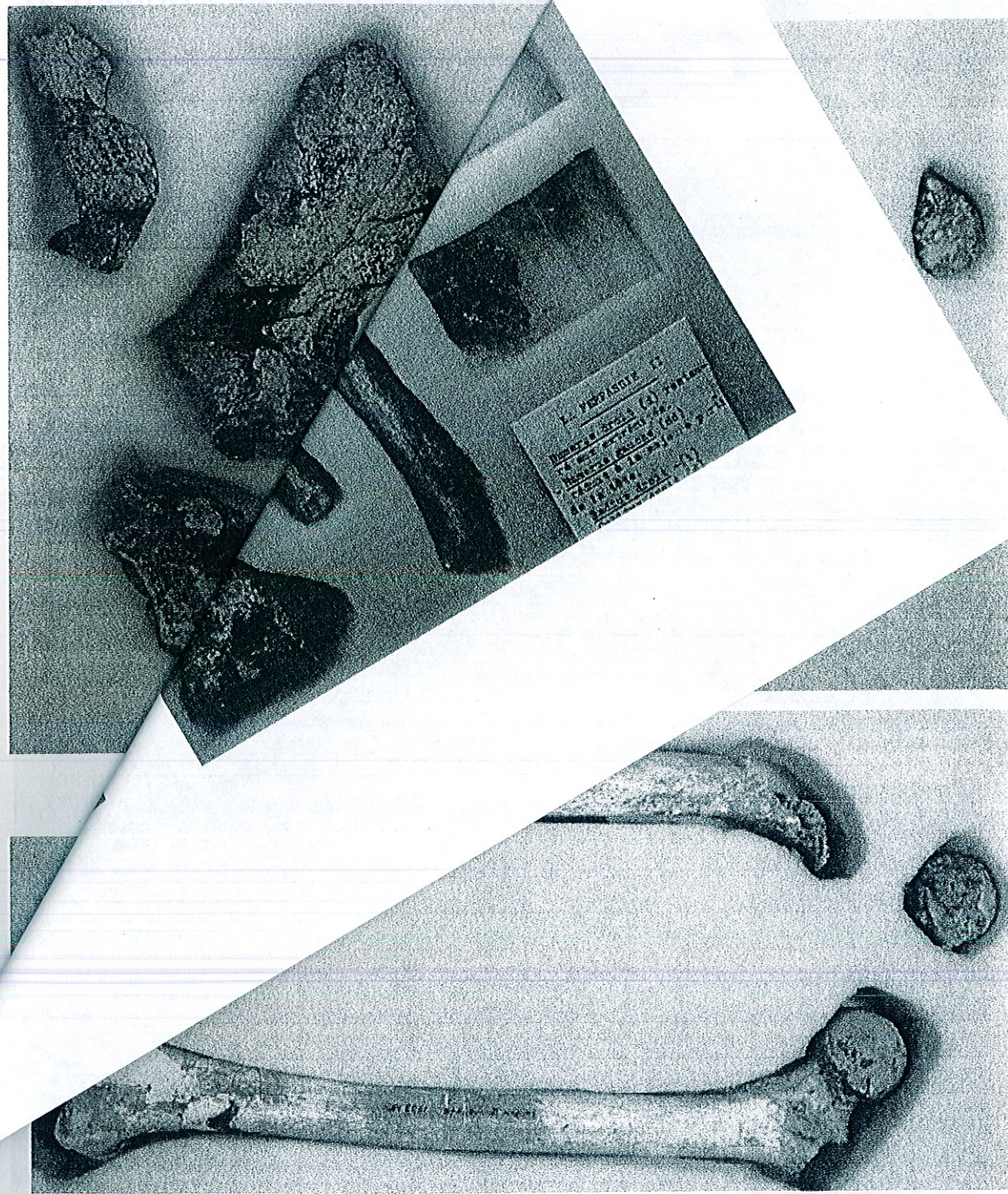


Planche 7 : Membres inférieurs