HAL
open science

Apport de la reconstruction virtuelle du bassin Regourdou 1 (Dordogne, France) à la connaissance des mécaniques obstétricales néandertaliennes.

Valentine Meyer

To cite this version:

Valentine Meyer. Apport de la reconstruction virtuelle du bassin Regourdou 1 (Dordogne, France) à la connaissance des mécaniques obstétricales néandertaliennes.. Sociologie. Université Sciences et Technologies - Bordeaux I, 2013. Français. NNT : 2013BOR14853 . tel-01059802

HAL Id: tel-01059802

https://theses.hal.science/tel-01059802

Submitted on 2 Sep 2014

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.

N° d'ordre : 4853

THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITÉ BORDEAUX 1
École doctorale Sciences et Environnements

par

Valentine Meyer

Pour l'obtention du grade de

DOCTEUR
Spécialité : Anthropologie biologique

Apport de la reconstruction virtuelle du bassin Regourdou 1 (Dordogne, France) à la connaissance de l'obstétrique néandertalienne

Après avis de :

M. François Marchal, Chargé de recherche CNRS, Marseille — *Rapporteur*
M. Erik Trinkaus, Professeur, Washington University, Saint-Louis — *Rapporteur*

Devant la commission d'examen formée de :

M. Jaroslav Bruzek, Directeur de recherche, CNRS, Bordeaux — *Directeur*
Mme. Christine Couture, Maître de conférences , Bordeaux — *Co-directrice*
M. François Marchal, Chargé de recherche, CNRS, Marseille — *Rapporteur*
M. Bruno Maureille, Directeur de recherche, CNRS, Bordeaux — *Examinateur*
Mme Karen Rosenberg, Chercheuse, University of Delaware, Newark — *Examinatrice*
M. Patrick Semal, Directeur de recherche, IRSNB, Bruxelles — *Examinateur*
Mme Anne-marie Tillier, Directrice de recherche, CNRS, Bordeaux — *Examinatrice*
M. Erik Trinkaus, Professeur, Washington University, Saint-Louis — *Rapporteur*

2013

Remerciements

Alors que j'achève ce travail, je voudrais adresser mes remerciements à de nombreux collègues, à mes amis et à ma famille, qui ont tous contribué à sa réalisation.

Je voudrais d'abord remercier MM. Jacques Jaubert et Bruno Maureille pour leur accueil au sein du laboratoire PACEA - UMR 5199, dont ils ont à leur tour assuré la direction, pendant mon master et mon doctorat.

J'adresse mes plus sincères remerciements à Christine Couture et Jaroslav Bruzek, mes directeurs de thèse, pour leur encadrement. Leur présence attentive, leurs conseils et leurs remarques m'ont été d'une grande aide.

J'ai été très honorée que MM. Erik Trinkaus et François Marchal acceptent de lire ma thèse et d'en être les rapporteurs. Leur expertise a sans aucun doute apporté un nouveau point de vue bénéfique sur ce travail.

Je tiens à remercier Mmes A-m. Tillier, du laboratoire PACEA à Bordeaux et K. Rosenberg, de l'Université du Delaware à Newark, ainsi que MM. B. Maureille, du laboratoire PACEA à Bordeaux et P. Semal, de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique à Bruxelles, qui ont accepté de prendre part à mon jury de thèse.

Lors de ce travail, j'ai eu l'opportunité d'accéder à de nombreuses collections anthropologiques et paléoanthropologiques, grâce à de nombreuses personnes ; qu'elles en soient remerciées.

Mme Véronique Merlin-Anglade et l'équipe du Musée d'Art et d'Archéologie de Périgueux, pour m'avoir permis d'étudier les restes de la ceinture pelvienne de Regourdou 1.

M. Jean-Jacques Cleyet-Merle, M. Stéphane Madelaine et toute l'équipe du MNP (particulièrement Bernard et Peggy) pour leur accueil et leur gentillesse lors de ma venue aux Eyzies-de-Tayac ; M. Chris Stringer pour l'accès aux restes de Tabun, et M. Robert Kruczinski pour son accueil au NHM de Londres ; M. Philippe Ménecier, pour la disponibilité des collections du MNHN, à Paris ; Mme Anne-marie Tillier pour son aimable prêt du moulage du sacrum de Subalyuk 1 ; Mme Dominique Castex, M. Patrice Courtaud (un remerciement particulier pour l'accueil et l'aide à l'ostéothèque) ainsi que MM. Léopold Maurel et Ludovic Soler pour l'accès aux trois populations ostéologiques de comparaison. Merci à Mme Katia Chaumoitre pour l'accès aux scanners de 300 bassins marseillais ; MM.

Yoel Rak et Alon Barash pour m'avoir très gentiment transmis les CT-scans de Kebara 2 ; MM. Timothy Weaver et Jean-Jacques Hublin pour le libre accès à leur reconstruction de Tabun C1 et la transmission des CT-scans de cet individu ; M. Philip Gunz pour le gracieux partage des données fœtales du Moustier 2, fournies avec l'autorisation de M. Bruno Maureille ; MM. Philippe Ménecier et Antoine Balzeau pour les CT-scans de La-Chapelle-aux-Saints ; Mme Priscilla Bayle, qui m'a transmis, via Nespos, les CT-scans des restes de Krapina.

Enfin, je voudrais remercier l'organisation européenne Synthesys, la fondation Irene Levi archaelogical Care ainsi que les porteurs du projet Transition pour leur soutien financier, qui m'ont permis l'accès à tout ce matériel.

Cette thèse, par son volet *paleoanthropologie virtuelle*, a représenté un défi matériel et technique important. Ces pages sont pour moi l'occasion de remercier officiellement les personnes qui m'ont tant aidé à le relever.

Pour leur apport considérable à mes connaissances en morphométrie géométrique : MM Denis Slice, Dean Adams, Paolo Piras, Mme Anna Loy et tous les participants du workshop Geometric Morphometrics Laboratory for Evolutionary Researches à Pesche (Italie) ainsi que MM. Gerard Weber, Paul O'Higgins et Mme Cinzia Fornai et les participants du workshop Evan Tool Box à Bordeaux ; M. Jérôme Migon pour avoir accepté d'effectuer, à deux reprises, un scanner des restes de Regourdou 1 ; Mme Maryelle Bessou pour son aide technique lors des tests radiographiques ; M. Pierre Guyomarc'h, pour ses nombreux conseils, envoyés sans relâche depuis l'autre hémisphère ; M. Bruno Dutailly pour son aide logistique, pour n'avoir pas (trop) souri à mes errances informatiques et pour avoir su me sortir des pires difficultés (TIVMI® est vraiment un logiciel fantastique) ; mais surtout, M. Frédéric Santos, pour son aide en statistiques et en mathématiques, pour ses conseils avisés et pour ces fantastiques méthodes d'estimation de données manquantes, cent fois testées, presque parfaites ?

Merci à tous ceux dont les conseils ont été profitables à ma réflexion et mon travail. Mme Hélène Coqueugniot pour ses remarques sur l'altricialité secondaire ; M. Bruno Maureille, pour son aide bibliographique, sa relecture critique et ses conseils très variés sur des questions qui le sont tout autant ; M. Sébastien Couette pour son aide incommensurable lors de la

construction de mon protocole d'estimation des données manquantes ; Mme Karen Rosenberg pour son intérêt et nos échanges sur la paléo-obstétrique ; Mme Anne-Marie Tillier pour sa disponibilité et ses conseils sur la question de la variabilité morphologique des Néandertaliens. Enfin, je voudrais exprimer toute ma gratitude envers M. Bernard Vandermeersch, dont les encouragements et le soutien régulier m'ont été d'un grand secours et grâce à qui j'ai eu accès à de nombreuses collections.

Pour l'analyse de l'incertitude inter-observateur, je remercie MM. Antony Colombo, Pierre Guyomarc'h et Frédéric Santos ainsi que Mmes Jeanna Loyer, Célimène Mussini et Hélène Scolan.

Merci aussi à Antoine, Célimène, Frédéric, Jean-Paul et Dominique, les correcteurs extraordinaires, chacun dans sa spécialité.

Je remercie l'ensemble de l'équipe du laboratoire PACEA, chercheurs et personnel administratif, pour leurs conseils toujours avisés, leur sympathie et leur intérêt.

Pour m'avoir soutenue et aidée pendant ces trois ans d'enseignement, je tiens à remercier M. Stéphane Rottier et Mmes Christine Couture, Priscilla Bayle, Marie-France Deguilloux, Virginie Garcin et Maryelle Bessou. J'en profite pour remercier M. Pascal Murail : mon entrée en master à Bordeaux, ma réussite à l'école doctorale et cette première expérience en enseignement lui doivent beaucoup.

Et enfin, un immense merci à tous les doctorants, ligue secrète mais tellement efficace : Aline, Joyce, Pierre, Virginie, Nada, Nathalie, Aurélie, Mona, Pauline, Caroline, Lucile, Kevin, Antony, Sacha, Mélie, Arwa, Maïté, Vanessa (pour ton indulgence face à mon affection pour Thomas Voeckler et mes discussions improbables avec ma bouchère) et Célimène (évidemment !).

Parce qu'il arrive que la thèse sorte de l'Université, je voudrais remercier Lacq Odyssée, Cap'Archéo, Cap Sciences, RCF, le CIRPC, l'ensemble des professeurs du lycée François Mauriac à Bordeaux et le Paléosite, pour leur accueil et leur intérêt.

Et maintenant, un peu en vrac, mais du fond du cœur…

Ludwig, Franz, Igor, Claude, Wolfgang et Frédéric, qui sont la preuve que les morts sont parfois bien vivants et qui ne se doutaient pas de ce que leur devraient les 300 pages qui suivent. Et, pour les mêmes raisons, merci Frédéric L., François B., Mathieu V. et Kathleen E. pour leurs ondes positives.

Anne K. et Io, pour vos mots d'argent et vos silences d'or ; Julie, Élodie, Émilie et Sophie ainsi que Nicolas, Marie-Lise, Yoann et Diane, pour les heures passées sur les planches et autour d'un verre.

Ceux qui ont suivi ce travail depuis le début (ou presque), et m'ont toujours encouragée : Hugues, Sylvain, Aurélie M., Jean-Paul, Thomas, Morgane.

Les rescapées du master, Rachael, Célia et Aurélie ainsi que la bande des Choupies : Laureline, Cam(ille), Camille (même si en vrai, on l'appelle Bob) et Célimène. Votre amitié a été le meilleur carburant qui soit.

Un clin d'œil aux spécialistes des gazouillis et des sourires ébahis : Dante et Antonin.

Un merci très spécial à Anne, et ses 21 ans d'expérience ; Fred, qui marie si bien politique et chocolat ; Hélène, pour nos repas au ru et toutes ces émotions partagées ; Célimène, pour nos aventures paléoanthropologiques et nos discussions interminables.

Pour écouter sans faiblir et depuis si longtemps mes élucubrations préhistoriques ; pour les balades dans le Sundgau et les concerts de Noël, merci Guillaume, Juliette, Zoé et nos parents.

Les conséquences d'une thèse sont parfois inattendues… il en est une qui a ma préférence. Merci Antoine.

Rien ne sera jamais facile, il y aura des moments maudits,
Oui, mais chaque victoire ne sera que la tienne,
Et toi seule en saura le prix.

Tables des matières

Introduction 21
I. Contexte 27
I.1. De l'os à l'image 3D : la paléoanthropologie virtuelle 27
I.1.1. Généralités 28
I.1.2. La reconstruction virtuelle 29
I.2. La parturition moderne : description générale, interaction entre les morphologies fœtale et pelvienne 31
I.2.1. L'accouchement moderne et son déroulement 32
I.2.2. Locomotion et morphologie pelvienne moderne 51
I.2.3. Morphologie du fœtus moderne à terme 63
I.3. Approche évolutive de l'accouchement moderne, notion de paléo-obstétrique 68
I.3.1. Le paradoxe obstétrical - influence de la bipédie et de l'encéphalisation sur l'accouchement moderne 68
I.3.2. L'accouchement chez les Primates non-humains 70
I.3.3. Données sur l'obstétrique des espèces fossiles de la lignée humaine. 73
Matériel 91
II.1. Hommes modernes 91
II.1.1. Matériel ostéologique 91
II.1.2. Base de données virtuelle 92
II.2. Néandertaliens 94
II.2.1. Inventaire des restes pelviens néandertaliens 95
II.2.2. Regourdou 1 97
II.2.3. Autres spécimens néandertaliens 107
III. Méthodes 113
III.1. Descriptions des restes pelviens de Regourdou 1 113
III.1.1. Définition des points de référence 113
III.1.2. Variables métriques (dimensions linéaires et indices) 119
III.1.3. Description des outils statistiques 126
III.2. Méthodologie de la reconstruction virtuelle du bassin Regourdou 1 129
III.2.1. Création de la base de données numérique 129
III.2.3. La reconstruction virtuelle du bassin Regourdou 1 130
III.2.4. Création et visualisation d'une surface 3D 144
III.3. Analyse obstétricale de la ceinture pelvienne de Regourdou 1. 145
III.3.1. Définitions des variables métriques 145
III.3.2. Analyse métrique des dimensions obstétricales de Regourdou 1 152
IV. Résultats 155
IV.1. Description morpho-métrique des restes pelviens de Regourdou 1 155
IV.1.1. Description morphologique 156

IV.1.2. Comparaison métrique du bassin Regourdou 1 avec un échantillon néandertalien et un échantillon moderne 175
IV.2. Reconstruction virtuelle de la ceinture pelvienne de Regourdou 1 190
IV.2.1. Estimation des données manquantes : étude comparative et choix de la méthode d'estimation. 190
IV.2.2. Reconstruction de l'articulation sacro-iliaque 204
IV.2.3. Comparaison des différentes reconstructions : choix de notre individu de référence. 206
IV.2.4. Création et visualisation d'une surface 3D. 210
Bilan : protocole de reconstruction virtuelle de Regourdou 1. 212
IV.3. Caractéristiques du canal pelvien néandertalien et conséquences obstétricales. 213
IV.3.1. Dimensions obstétricales de Regourdou 1 : comparaison avec Kebara 2, Tabun C1 et une population d'Hommes anatomiquement modernes 213
IV.3.2. Morphologie du canal pelvien néandertalien : implications obstétricales... 235
IV.3.3. Données sur la relation céphalo-pelvienne et description des mécaniques obstétricales néandertaliennes 250
Bilan de l'analyse obstétricale 263
V. Discussion 265
V.1. Considérations méthodologiques 265
V.1.1. Nouvelles mesures en morphométrie : risques et avantages 265
V.1.2. Mesures obstétricales en paléoanthropologie virtuelle 266
V.1.3. Méthode de reconstruction 268
V.2. Regourdou 1 : apport d'un nouveau spécimen à la connaissance de la variabilité morphométrique des bassins néandertaliens. 275
V.3. La reconstruction virtuelle de Regourdou 1 : précision et comparaison avec d'autres reconstructions 280
V.3.1. Erreur de reconstruction 281
V.3.2. Autres reconstructions virtuelles de bassins néandertaliens 285
V.4. Analyse obstétricale de la ceinture pelvienne de Regourdou 1 : influence de l'asymétrie et du sexe. 289
V.4.1. L'asymétrie du bassin Regourdou 1 : réflexions sur sa nature et son étiologie 289
V.4.2. Sexe de Regourdou 1 et dimorphisme sexuel néandertalien : apport de nos travaux. 292
V.4.3. Nouvelles données sur les mécaniques obstétricales néandertaliennes 298
Nouvelles données sur l'accouchement néandertalien. Implication biologique et comportementale. 303
Conclusions et perspectives 311
Bibliographie 317
Annexes 372

Liste des annexes

Annexe A : planches anatomiques i

Annexe B : site de Regourdou (Montignac, Dordogne, France) iv

Annexe C. Données numériques et graphiques concernant le calcul de l'ERA pour les individus néandertaliens. vii

Annexe D. Les Méthodes d'estimation xii

Annexe E. Données numériques sur la partie obstétrique. xvi

Annexe F. Communications et publications xviii

Liste des figures

Figure 1. Les trois détroits obstétricaux. 33
Figure 2. Présentations du fœtus lors de l'engagement. 34
Figure 3. Position de la tête foetale à l'entrée de la cavité pelvienne. 35
Figure 4. Flexion de la tête foetale avant l'engagement. 37
Figure 5. Direction de la poussée utérine et de sa composante efficace. 38
Figure 6. Mécaniques obstétricales. 39
Figure 7. Comparaison entre un bassin de Pongidés et un bassin humain moderne. 53
Figure 8. Classification du détroit supérieur du bassin anatomiquement moderne. 55
Figure 9. Dimensions du détroit supérieur chez l'Homme anatomiquement moderne. 62
Figure 10. Comparaison entre le bassin de trois genres d'Hominoïdés. 71
Figure 11. Relation foeto-pelvienne chez les Primates. 72
Figure 12. Expulsion du foetus chez les Primates non-humains. 73
Figure 13. Bassin de quatre individus australopithèques. 75
Figure 14. Le bassin de l'individu BSN49/P47 (*Homo erectus*). 81
Figure 15. Le bassin Pelvis 1 (*Homo heidelbergensis*). 82
Figure 16. Répartition selon l'âge et le sexe des sujets de l'échantillon de référence pour la reconstruction (à gauche) et pour l'analyse obstétricale (à droite) du bassin Regourdou 1. 94
Figure 17. Localisation du site de Regourdou. 97
Figure 18. Le site de Regourdou aujourd'hui. (Photographie V. Meyer) 98
Figure 19. Représentation squelettique de l'individu Regourdou 1 en 2007 (a) et après les découvertes de 2008 (b). 102
Figure 20. Les fragments d'os coxaux de Tabun C1. 110
Figure 21. La reconstruction virtuelle du bassin de Tabun C1. 111
Figure 22. La ceinture pelvienne de Kebara 2. 112
Figure 23. Localisation des points de repères utilisés dans ce travail. 117
Figure 24. Mesures définies sur le coxal. 122
Figure 25. Mesures prises sur le sacrum. 124
Figure 26. L'analyse en composantes principales doublement centrée. 128
Figure 27. Points de repère pris sur le bassin néandertalien de Regourdou 1 135
Figure 28. Surfaces triangulaires externes définies pour la création d'une surface 3D. 144
Figure 29. Mesures obstétricales 148
Figure 30. Le canal pelvien : schéma simplifié. 151
Figure 31. Schématisation du canal pelvien pour le calcul du volume. 151
Figure 32. La ceinture pelvienne de Regourdou 1 155
Figure 33. Vue antérieure et postérieure du sacrum de Regourdou 1. 157
Figure 34. Base du sacrum de Regourdou 1, vue supérieure. 157

Figure 35. Détail de la face antérieure du sacrum de Regourdou 1 : absence de fusion entre S1 et S2. 158
Figure 36. Vue latérale du sacrum de Regourdou 1, surfaces auriculaires droite et gauche. 159
Figure 37. Fragment d'ilium droit de Regourdou 1 161
Figure 38. Détail de l'ilium droit de Regourdou 1 : l'épine iliaque antéro-inférieure. 163
Figure 39. Détail de l'ilium droit de Regourdou 1 : la grande incisure ischiatique. 165
Figure 40. Fragment d'ischium droit de l'individu Regourdou 1. 167
Figure 41. Détail de l'ischium droit de Regourdou 1 : la tubérosité ischiatique. 168
Figure 42. Fragment de pubis droit de Regourdou 1. 169
Figure 43. Comparaison des sections transverses de la branche supérieure du pubis chez les Néandertaliens et les Hommes anatomiquement modernes. 170
Figure 44. Fragment d'ilium gauche de Regourdou 1. 171
Figure 45. Coxal gauche de Regourdou 1 : la grande incisure ischiatique. 172
Figure 46. Fragment d'acétabulum gauche de Regourdou 1 173
Figure 47. Fragment de tubérosité ischiatique gauche de Regourdou 1. 174
Figure 48. Analyse de la distance probabiliste entre Regourdou 1 et une population moderne. 178
Figure 49. Analyse de la distance probabiliste entre les coxaux néandertaliens et la population moderne de référence. 180
Figure 50. Analyse de la distance probabiliste entre les sacrums néandertaliens et la population moderne de référence. 181
Figure 51. Analyse de la distance probabiliste entre Regourdou 1 et un échantillon néandertalien. 182
Figure 52. Analyse en composantes principales sur les données coxales, avec Feldhofer 1, axes 1 et 2. 184
Figure 53. Analyse en composantes principales sur les données coxales, avec Feldhofer 1, axes 1 et 3. 185
Figure 54. Analyse en composantes principales sur les données coxales, sans Feldhofer 1, axes 1 et 2. 186
Figure 55. Analyse en composantes principales sur les données coxales, sans Feldhofer 1, axes 1 et 3. 187
Figure 56. Analyse en composantes principales sur les données du sacrum, axes 1 et 2..... 188
Figure 57. Analyse en composantes principales sur les données du sacrum, axes 1 et 3..... 189
Figure 58. Erreur résiduelle moyenne d'estimation en fonction du nombre de données manquantes, pour différents échantillons de référence. 194
Figure 59. Comparaison de l'erreur résiduelle moyenne de l'estimation de points manquants sur Kebara 2 avec les résultats d'une estimation sur les Hommes anatomiquement modernes. 198

Figure 60. Estimation de points manquants par la méthode des thin-plate spline par un seul individu. 200
Figure 61. Comparaison de deux méthodes (RM et TPS) et de deux échantillons de référence. 203
Figure 62. Image virtuelle de la reconstruction manuelle de l'articulation sacro-iliaque..... 204
Figure 63. Reconstruction virtuelle de l'articulation sacro-iliaque..... 205
Figure 64. Reconstruction globale, vue antérieure. 206
Figure 65. Reconstruction par symétrie droite, vue antérieure. 207
Figure 66. Reconstruction par symétrie gauche, vue antérieure. 208
Figure 67. Positionnement des trois reconstructions virtuelles de Regourdou 1 et de leur consensus par rapport à un échantillon moderne 209
Figure 68. La reconstruction virtuelle de Regourdou 1 : vue antérieure de la surface 3D.... 210
Figure 69. La reconstruction virtuelle de Regourdou 1 : vue supérieure de la surface 3D... 211
Figure 70. La reconstruction virtuelle de Regourdou 1 : vue latérale gauche de la surface 3D. 212
Figure 71. Positionnement de trois spécimens néandertaliens par rapport à un échantillon moderne : détroit supérieur. 217
Figure 72. Positionnement des trois spécimens néandertaliens par rapport à un échantillon moderne : détroit moyen. 218
Figure 73. Positionnement des trois spécimens néandertaliens par rapport à un échantillon moderne : détroit inférieur. 219
Figure 74. Analyse de la distance probabiliste de Regourdou 1, Kebara 2, Tabun C1 relativement à un échantillon d'Hommes anatomiquement modernes 220
Figure 75. Analyse de la distance probabiliste entre Regourdou 1, Kebara 2, Tabun C1 et un échantillon d'Hommes anatomiquement modernes ; volumes, aires et circonférences..... 223
Figure 76. Volume de la cavité pelvienne : données modernes et néandertaliennes. 225
Figure 77. Analyse en composantes principales des dimensions obstétricales. Données linéaires et indices. 227
Figure 78. Analyse en composantes principales des dimensions obstétricales. Volumes, aires et périmètre. 229
Figure 79. Localisation des points de repère par superposition Procuste (vue antérieure)... 230
Figure 80. Localisation des points de repère par superposition Procuste (vue supérieure). . 231
Figure 81. Analyse en composantes principales des résidus de l'analyse Procuste : axes 1 et 2. 232
Figure 82. Analyse en composantes principales des résidus de l'analyse Procuste : axes 1 et 3. 233
Figure 83. Mise en parallèle des caractéristiques du canal pelvien moderne et des mécaniques obstétricales qui en résultent..... 236

Figure 84. Comparaison de la morphologie du détroit supérieur de Regourdou 1, du consensus hommes et du consensus femmes. Vue supérieure. 237
Figure 85. Comparaison de la morphologie du détroit moyen de Regourdou 1, du consensus hommes et du consensus femmes. Vue supérieure..... 238
Figure 86. Comparaison de la morphologie du détroit inférieur de Regourdou 1, du consensus hommes et du consensus femmes. Vue supérieure..... 239
Figure 87. Morphologie comparée du canal pelvien de Regourdou 1 et du consensus « Hommes anatomiquement modernes » : visualisation des trois détroits en vue supérieure. 241
Figure 88. Morphologie comparée du canal pelvien de Regourdou 1 et du consensus « Hommes anatomiquement modernes » : visualisation des trois détroits en vue latérale. 242
Figure 89. Comparaison de la morphologie du canal pelvien de Regourdou 1, Kebara 2 et Tabun C1. Vue supérieure. 244
Figure 90. Comparaison de la morphologie du canal pelvien de Regourdou 1, Kebara 2 et Tabun C1. Vue latérale droite..... 245
Figure 91. Morphologie comparée du canal pelvien du consensus néandertalien et du consensus moderne, vue supérieure..... 247
Figure 92. Morphologie comparée du consensus néandertalien et du consensus moderne, vue latérale. 249
Figure 93. Position de Regourdou 1 au sein de la varaibilité néandertalienne et évolution de la dystocie en fonction du cas considéré. 253
Figure 94. Mouvements des os du bassin lors de la nutation du sacrum..... 255
Figure 95. Description de la relation céphalo-pelvienne entre un fœtus néandertalien moyen et Regourdou 1, en l'absence de nutation du sacrum. 256
Figure 96. Description de la relation céphalo-pelvienne entre un foetus néandertalien moyen et Regourdou 1, en prenant en compte une nutation de 10 mm au niveau du diamètre bi-ischiatique. 256
Figure 97. Description de la relation céphalo-pelvienne entre un fœtus néandertalien moyen et le consensus néandertalien, en l'absence de nutation du sacrum. 260
Figure 98. Description de la relation céphalo-pelvienne entre un fœtus néandertalien moyen et le consensus néandertalien, en prenant en compte la nutation du sacrum. 261
Figure 99. Description de la relation céphalo-pelvienne entre un fœtus néandertalien moyen et un individu néandertalien moyen, en prenant en compte la nutation du sacrum..... 262
Figure 100. Nuage de points correspondant à la reconstruction de Regourdou 1 par régression multiple, grâce à un échantillon moderne..... 273
Figure 101. Chaîne opératoire de la méthode de reconstruction du bassin Regourdou 1 284
Figure 102. Nuages de points prenant en compte les trois reconstructions de Tabun C1. 288

Figure 103. Dimensions du détroit supérieur de 14 populations anatomiquement modernes et de trois individus néandertaliens (Regourdou 1, Tabun C1, Kebara 2). 293
Figure 104. Vue interne de la grande incisure ischiatique gauche de Regourdou 1. 294
Figure 105. Morphologie de la grande insicisure ischiatique de Regourdou 1 (C) comparée avec les morphologies modernes (A et B). 295
Figure 106. Orientation en OIGA de la tête foetale dans le bassin maternel. 304

Liste des tableaux

Tableau 1. Variabilité des dimensions obstétricales modernes. 61
Tableau 2. Données crâniennes fœtales néandertaliennes (fœtus à terme). Revue bibliographique. 87
Tableau 3. Matériel utilisé au cours de cette étude. 91
Tableau 4. Catalogue des restes pelviens adultes néandertaliens. 96
Tableau 5. Estimation de la stature et de la masse corporelle de Regourdou 1 106
Tableau 6. Liste des points de repère présents sur les restes de la ceinture pelvienne de Regourdou 1. 119
Tableau 7. Variabilité de l'épaisseur du cartilage de l'articulation sacro-iliaque chez l'Homme anatomiquement moderne 133
Tableau 8. Plastilines comparées pour la reconstruction du cartilage sacro-iliaque. 134
Tableau 9. Points disponibles sur Regourdou 1 en fonction de l'approche de la symétrie du bassin 143
Tableau 10. Points de repère associés à chacun des trois détroits obstétricaux. 150
Tableau 11. Incertitude intra et inter observateur des mesures prises sur a. le coxal et b.le sacrum 176
Tableau 12. Incertitude intra-observateur lors de la prise des points de repère 192
Tableau 13. Influence de la quantité de données manquantes et de la taille de l'échantillon de référence (valeurs de p) 195
Tableau 14. Différence entre les trois méthodes d'estimation (valeurs de p) 196
Tableau 15. Comparaison entre deux séries de points manquants (valeurs de p) 197
Tableau 16. Estimation de données manquantes sur Kebara 2 : erreurs résiduelles et valeurs de p 198
Tableau 17. Influence du sexe sur l'efficacité des méthodes : erreurs résiduelles et valeurs de p 199
Tableau 18. Influence du sexe lors de l'estimation par la méthode des thin-plate spline, à un individu de référence. Erreurs résiduelles (en mm) et valeurs de p 200
Tableau 19. Bilan de la comparaison de trois méthodes d'estimation des données manquantes. 201
Tableau 20. Erreur résiduelle moyenne obtenue après l'estimation de couples de points chez Regourdou 1 par deux méthodes et deux échantillons de référence différents. 203
Tableau 21. Différence moyenne entre les trois reconstructions virtuelles de Regourdou 1 208
Tableau 22. Estimation de l'incertitude intra et inter-observateur des dimensions obstétricales 214
Tableau 23. Récapitulatif des dimensions obstétricales de Regourdou 1, associées aux statistiques descriptives de notre échantillon moderne 216
Tableau 24. Dimensions obstétricales de Regourdou 1 251
Tableau 25. Données crâniennes fœtales (à terme) néandertaliennes. Revue bibliographique. 252

Tableau 26. Données sur le dimorphisme sexuel moyen pour chaque dimension obstétricale de notre étude et estimation d'une morphologie néandertalienne féminine (en mm). 253
Tableau 27. Dimensions obstétricales du consensus néandertalien 259
Tableau 28. Dimensions obstétricales d'un individu moyen néandertalien 262
Tableau 29. Comparaison entre la longueur du pubis de Regourdou 1, Kebara 2, Tabun C1 et de la population moderne. 277
Tableau 30. Dimensions du canal pelvien des reconstructions virtuelles de Tabun C1. 286

Les vases sont faits d'argile,
mais c'est grâce à leur vide que l'on peut s'en servir.
Lao Tseu

Introduction

La naissance est un événement fondamental dans les sociétés humaines et est l'objet de nombreuses pratiques culturelles, médicales et rituelles (Bartoli 2010). Mais c'est avant tout un événement biologique de première importance et de son bon déroulement dépendent la vie d'un nouvel individu et la survie de l'espèce. Chez l'Homme, le processus de la naissance, ou accouchement, est complexe et difficile (Raynal *et al.* 2005 ; Parente *et al.* 2011), ses mécanismes et sa durée peuvent mettre en danger la mère (Loudon 1992 ; Hogan *et al.* 2010) et l'enfant (Oestergaard *et al.* 2011 ; Miller 2012). L'accouchement est ainsi un événement paradoxal et dichotomique, où interagissent des sentiments de peur, de douleur mais aussi de joie et d'espoir (Beausang 2000).

Le terme de paradoxe n'est pas anodin quand on aborde l'aspect biologique de la naissance. La dynamique de celle-ci complexe est en effet imposée par la relation entre le bassin maternel et le fœtus à terme : la relation céphalo-pelvienne. Adapté à la bipédie, le premier est étroit et fermé tandis que le second présente un volume encéphalique important, résultant du processus d'encéphalisation et nécessitant un élargissement du bassin, pour faciliter l'accouchement. Lors de la naissance, ces deux adaptations évolutives s'opposent, c'est ce qu'on appelle le paradoxe obstétrical (Washburn 1960 ; Wittman et Wall 2007). On considère aujourd'hui que les mécaniques obstétricales modernes sont une adaptation à cette opposition entre bipédie et encéphalisation (Rosenberg et Trevathan 1995 ; Wittman et Wall 2007). Elles sont en effet caractérisées par une succession de mouvements de rotation et de flexion, qui permettent au fœtus de traverser le canal pelvien, malgré cette étroite relation céphalo-pelvienne ; on parle de naissance rotationnelle (Malinas et Favier 1979).

L'acquisition de la bipédie et l'augmentation de la capacité crânienne peuvent être étudiées à l'aune de l'analyse paléoanthropologique des différents représentants de la lignée humaine. Plus précisément, l'analyse de la morphologie du bassin de spécimens fossiles permet aujourd'hui de discuter du paradoxe obstétrical et de la mise en place de la naissance rotationnelle. Ces problématiques relèvent de la paléo-obstétrique, thématique de la paléoanthropologie qui fait l'objet de nombreux travaux depuis la fin des années 2000.

Récemment, le développement de la paléoanthropologie virtuelle a permis de multiples avancées en paléo-obstétrique. La reconstruction virtuelle, grâce aux outils de l'imagerie médicale 3D, permet de travailler sur des spécimens dont l'état de conservation empêchait jusqu'à présent toute étude obstétricale, comme les individus Tabun C1 (Ponce de León *et al.* 2008 ; Weaver et Hublin 2009) ou Sterkfontein 14 (Berge et Goularas 2010). De même, la morphométrie géométrique, en perpétuelle évolution depuis les années 1990, offre de nouveaux outils pour des analyses plus précises de la forme et de la conformation des spécimens (Bookstein 1991a).

Ce contexte d'essor technique, associé aux nouveaux moyens de communication qui facilitent l'échange des données, a permis de nouvelles avancées en paléo-obstétrique, pondérées toutefois par le manque de nouveaux spécimens.

Regourdou 1, une nouvelle opportunité en paléo-obstétrique.

En 2008, lors du travail de récolement des collections du Musée National de Préhistoire, de nouveaux restes associés à l'individu néandertalien Regourdou 1 sont mis au jour dans les collections fauniques du site (Madelaine *et al.* 2008). Ces nouvelles découvertes complètent un squelette déjà bien représenté et font de Regourdou 1 l'un des Néandertaliens européens les plus complets (Maureille *et al.* sous presse). Parmi ces nouveaux restes, plusieurs fragments de coxaux sont identifiés puis associés au sacrum et à l'ischium déjà connus. Depuis 2008, Regourdou 1 compte parmi les bassins néandertaliens les plus complets (Madelaine *et al.* 2008). Dans ce contexte de « renouveau paléo-obstétrical », la découverte de cette ceinture pelvienne est de première importance : elle offre l'opportunité d'apporter de nouvelles données à la discussion sur les mécaniques obstétricales néandertaliennes.

Cette volonté d'une analyse paléo-obstétricale du bassin Regourdou 1 s'est toutefois heurtée à l'état de conservation du spécimen. Le canal pelvien de cet individu est en effet incomplet : seule la partie postérieure de la ceinture pelvienne est bien représentée et nous ne pouvons pas y prendre de mesures obstétricales, celles-ci concernant l'ensemble du canal. Nous avons donc fait le choix, en préalable de notre projet de recherche, d'une reconstruction virtuelle du bassin Regourdou 1 grâce aux outils de la géométrie morphométrique. Cela

permet d'une part d'inclure notre travail au cœur de la paléo-obstétrique virtuelle, d'autre part de comparer nos résultats avec ceux de précédents travaux (Ponce de León *et al.* 2008 ; Weaver et Hublin 2009).

Objectifs et problématique

La comparaison du bassin moderne et du bassin néandertalien met en évidence des différences morphométriques, dont certaines pourraient affecter la morphologie du canal obstétrical, comme la longueur du pubis par exemple (Stewart 1960 ; Trinkaus 1976, 1984). À partir de l'analyse fonctionnelle de la morphologie néandertalienne, de nombreuses hypothèses ont été proposées concernant les mécaniques obstétricales de cette population. Généralement circonscrites à l'étude de deux individus, Tabun C1 et Kebara 2, elles sont parfois contradictoires. Nous avons voulu, à partir de la description d'un nouveau spécimen, discuter de la variabilité de la ceinture pelvienne chez les Néandertaliens et en proposer de nouvelles interprétations fonctionnelles. Dans le cadre de l'analyse paléo-obstétricale de la reconstruction virtuelle du bassin Regourdou 1, notre objectif est donc de proposer une nouvelle description de l'accouchement néandertalien.

Notre hypothèse rejoint celles de Rosenberg (1988), Bouhallier (2006) ou Ponce de Leon (2008) : les mécaniques obstétricales néandertaliennes seraient comparables aux mécaniques modernes. Dans cette perspective, nous avons cherché à mettre en évidence la présence chez les Néandertaliens de caractéristiques morphologiques qui, chez l'Homme anatomiquement moderne, sont associées à la présence d'une naissance rotationnelle. La comparaison entre ces deux populations se fera grâce aux données sur les dimensions obstétricales de Regourdou 1, de deux spécimens de comparaison (Tabun C1 et Kebara 2) mais aussi sur celles d'un bassin néandertalien moyen. Cet individu moyen, construit par analyse Procuste (Goodall 1991), permet de ne pas simplement reconstituer un couple mère-enfant, théorique et souvent fallacieux, mais de réfléchir à l'échelle de la population.

Cette réflexion populationnelle est aussi l'occasion de poursuivre notre travail au-delà de la seule description des mécaniques obstétricales et de nous interroger, à partir de nos connaissances sur l'obstétrique moderne, sur les répercussions de l'accouchement chez les

Néandertaliens, notamment sur la mère et l'enfant. Les données bibliographiques sur la durée et la difficulté du travail, le risque de dystocie, mais aussi sur la mortalité maternelle et néonatale, nous permettent de proposer une lecture physiologique, biologique et comportementale de nos résultats.

La principale problématique de notre travail est donc celle de ***la caractérisation de l'accouchement néandertalien*** et nous nous proposons de ***mettre en évidence l'existence d'une mécanique obstétricale de type moderne chez cette population***. Nous pourrons ainsi, dans un second temps, ouvrir notre réflexion sur les implications d'une telle mécanique pour la population néandertalienne.

Axes d'étude et plan

La découverte de la ceinture pelvienne de Regourdou 1 est le déclencheur de notre investigation sur l'obstétrique néandertalienne. Nous avons donc mené la réflexion autour de ce spécimen. Nous pouvons diviser notre étude en trois grands axes : décrire, reconstruire, analyser.

Décrire. La description du bassin Regourdou 1, inédit au début de nos travaux, est une étape incontournable. Ce spécimen a été comparé, morphologiquement et métriquement, à un échantillon néandertalien et anatomiquement moderne. Cela nous permettra de vérifier la présence, chez cet individu, de caractères déjà observés sur les autres spécimens néandertaliens (la déviation de l'épine iliaque antéro-inférieure ou l'étroitesse de la surface rétro-cotyloïdienne par exemple) et de mettre en évidence la spécificité du bassin néandertalien par rapport à la morphologie moderne. Nous verrons que cette spécificité se traduit plus par une mosaïque de caractères qu'un trait particulier.

Reconstruire. Notre travail est l'occasion de construire un protocole de reconstruction solide, en réponse à des questions précises sur l'efficacité des méthodes, sur l'échantillon de référence ou sur l'utilisation de la symétrie. Grâce à la comparaison exhaustive de trois méthodes, nous mettrons en évidence l'influence de certains facteurs, comme le nombre de données manquantes ou l'appartenance taxinomique du spécimen. Finalement, nous

proposons la première reconstruction virtuelle en trois dimensions de Regourdou 1, ainsi qu'un protocole rigoureux applicable à d'autres spécimens.

Analyser. Plusieurs dimensions obstétricales ont été prises sur le canal pelvien de Regourdou 1, ainsi que sur deux autres individus néandertaliens, Tabun C1 et Kebara 2. L'étude statistique de ces dimensions nous permettra de confirmer l'existence d'une différence dimensionnelle significative entre le bassin moderne et le bassin néandertalien, notamment au niveau de la partie inférieure de celui-ci. Ce dernier axe nous offre surtout l'opportunité de vérifier notre hypothèse d'une naissance rotationnelle chez les Néandertaliens, grâce à l'analyse par morphométrie géométrique des trois canaux obstétricaux. Nous verrons en effet que ceux-ci présentent une morphologie associée à des mécaniques obstétricales de type moderne, comme par exemple l'orientation des détroits obstétricaux ou l'inclinaison du bassin par rapport à la colonne vertébrale.

Notre réflexion est construite autour de ces trois axes. Dans un premier temps, un rappel complet et détaillé du contexte scientifique de notre travail met en avant les points importants de notre problématique (partie I). Nous présentons ensuite le matériel utilisé (partie II) ainsi que les méthodes employées, à la fois classiques et modernes (partie III) ; l'exposé précis de nos résultats, en suivant à nouveau le schéma décrire-reconstruire-analyser (partie IV) nous amènera finalement à réexaminer les problématiques de la paléo-obstétrique néandertalienne (partie V).

I. Contexte

La découverte du bassin Regourdou 1 nous offre l'opportunité de discuter d'un aspect essentiel de l'évolution humaine : l'émergence de la naissance rotationnelle (Franciscus 2009). Elle nous permet aussi de discuter des répercussions de la naissance sur la population néandertalienne. Dans cette optique, nos recherches et surtout l'analyse de nos résultats se sont appuyés sur une bibliographie en obstétrique et en paléo-obstétrique. L'état de l'art que nous présentons à présent met en exergue les problématiques de notre travail en les intégrant à la question plus globale des caractéristiques de la naissance moderne et de l'évolution des mécaniques obstétricales dans la lignée humaine. Cette partie est ainsi l'occasion de décrire l'accouchement moderne, son déroulement mais aussi ses conséquences, données que nous pourrons ensuite rapporter à nos résultats sur l'obstétrique néandertalienne. De la même manière, nous essaierons de comprendre ce qui, dans l'évolution biologique humaine, explique la mise en place de la naissance rotationnelle telle que nous la connaissons aujourd'hui. Nous verrons aussi que la question de la paléo-obstétrique repose sur un paradigme aujourd'hui rediscuté, le paradoxe obstétrical (Washburn 1960 ; Bouhallier 2006 ; Wells *et al.* 2012).

Notre travail sur la ceinture pelvienne de Regourdou 1 comprend aussi un important volet relevant de l'anthropologie virtuelle : la reconstruction du bassin de Regourdou 1 servira de base à toutes nos analyses ultérieures. Nous avons donc tenu à rappeler l'histoire de cette thématique, dont le récent essor a permis de nombreux progrès en paléoanthropologie, à travers l'acquisition de nouveaux résultats (Weber et Bookstein 2011).

I.1. De l'os à l'image 3D : la paléoanthropologie virtuelle

Le développement de nouvelle techniques d'enregistrement des données, d'analyse et de visualisation assistées par ordinateur a favorisé l'émergence de nouveaux outils, relevant de la paléoanthropologie virtuelle (Gunz *et al.* 2009).

I.1.1. Généralités

Depuis ses débuts, la paléoanthropologie est face à un dilemme : étudier le matériel disponible en risquant de le fragiliser voire de le détruire ou conserver ce matériel à tout prix et freiner son étude (Recheis *et al.* 1999). Pour résoudre ce dilemme, la fabrication de moulages, multipliant les copies de chaque spécimen et diminuant le risque de dommages sur l'original, s'est très vite répandue. De plus, la volonté d'analyser exhaustivement certains restes associée à l'envie de produire une reproduction complète de l'individu fossile ont fait se développer le nombre de reconstructions. De nombreuses techniques, plus ou moins fiables, se sont ainsi succédées depuis un siècle (Goodwin et Chaney 1994). Aujourd'hui, les nouvelles technologies et notamment l'outil informatique permettent l'essor d'un nouveau type de production : la reconstruction virtuelle.

Celle-ci appartient à ce qu'on appelle aujourd'hui l'anthropologie virtuelle (Zollikofer et Ponce de León 1995 ; Zollikofer *et al.* 1995 ; Zollikofer *et al.* 1998 ; Recheis *et al.* 1999) et est basée sur l'utilisation des outils de l'informatique et de l'imagerie médicale. Une fois scannés, les objets sont digitalisés en images virtuelles grâce à des logiciels adaptés aux besoins de la paléoanthropologie (Zollikofer *et al.* 1998 ; Zollikofer et Ponce de León 2005 ; Gunz *et al.* 2009 ; Balzeau *et al.* 2010).

Depuis les années 1980 et les premiers essais d'application de l'imagerie médicale à l'étude des fossiles (Jungers et Minns 1979 ; Tate et Cann 1982 ; Conroy et Vannier 1987), l'anthropologie virtuelle s'est fortement développée, notamment dans les années 1990 - 2000 (Spoor *et al.* 2000). Elle est à l'origine d'une réelle révolution en paléoanthropologie (Recheis *et al.* 1999 ; Mafart *et al.* 2004). Comme le souligne Bruner (2009), en paléontologie tout tourne autour d'un « barycentre géopolitique » : le fossile. Le paradigme paléontologique, organisé autour de l'unicité du fossile est déstructuré par la transformation de l'objet physique en objet digital, plus facilement reproduit, transmis et déplacé à travers le monde (Weber *et al.* 2001 ; Elton et Cardini 2008 ; Bruner 2009 ; Balzeau *et al.* 2010).

Le principal avantage de la paléoanthropologie virtuelle réside donc dans sa capacité à résoudre le dilemme exposé précédemment. L'acquisition des données se fait de manière non invasive, grâce aux scanners (Ponce de León et Zollikofer 1999 ; Weber *et al.* 2001 ;

Laitman 2004 ; Kullmer 2008) et l'utilisation des ordinateurs permet des analyses répétées et précises (Weber *et al.* 2001). Ces nouvelles techniques permettent de plus d'accéder plus facilement à certaines structures internes (Balzeau *et al.* 2005 ; Semal *et al.* 2005 ; Balzeau *et al.* 2013).

I.1.2. La reconstruction virtuelle

Le terme de reconstruction désigne indifféremment l'assemblage des fragments osseux, l'estimation des données manquantes ou la reconstitution des tissus mous (Gunz 2005, p.73) ; ces différents protocoles qui font appel à des techniques très variées.

Les premières reconstructions, faites suivant les techniques de la sculpture, à l'aide d'argile, de plâtre ou de colle (Kalvin *et al.* 1995), sont considérées aujourd'hui comme très subjectives (Lewin 1997, p.160 ; Gunz 2005 ; Chapman *et al.* 2010). À l'opposé, celles résultant de protocoles virtuels en 3D sont vues comme des reproductions objectives et plus respectueuses de la morphologie originale du spécimen (Kalvin *et al.* 1995 ; Mafart *et al.* 2004 ; Gunz *et al.* 2009). Cette vision de la paléoanthropologie virtuelle est naïve et l'analyse des différentes reconstructions de bassins néandertaliens ainsi que nos propres résultats sur celle de Regourdou 1 nous permettront de pondérer ce point de vue.

Si elle permet de corriger les déformations subies par le fossiles (Gunz *et al.* 2009), de retravailler d'anciennes reconstructions (Kalvin *et al.* 1995 ; Mafart *et al.* 2007 ; Benazzi *et al.* 2011) ou de tester des méthodes et de gagner en précision (Kalvin *et al.* 1995), la qualité de la reconstruction dépend aussi fortement de l'état initial du fossile et des connaissances du chercheur (Kullmer 2008). De plus, les objets obtenus sont souvent réalisés dans un but analytique précis, qui peut parfois biaiser le protocole. Malgré cela, il est essentiel que les reconstructions restent un outil et n'oblitèrent pas l'importance des études ultérieures (Benazzi *et al.* 2009a).

L'utilisation de ces objets virtuels ne facilite pas toujours l'observation directe. En effet, cette dernière est multimodale et multi sensorielle (Zollikofer et Ponce de León 1995), et l'absence de manipulation peut la freiner. S'est alors développé le concept de « real

virtuality », ou virtualité réelle (Bresenham 1993 ; Zollikofer et Ponce de León 1995). L'impression de prototypes en trois dimensions à partir de l'image virtuelle, développée d'abord par l'industrie du design (Zollikofer et Ponce de León 1995), a très vite été adoptée par la paléoanthropologie (Recheis *et al.* 1999 ; Zollikofer *et al.* 2005) mais aussi par la médecine (Vannier *et al.* 1984 ; Zollikofer et Ponce de León 1995). Elle permet des observations sans faire courir de risque au spécimen fossile (Recheis *et al.* 1999) et favorise la diffusion des connaissances, en complétant les collections des musées et des expositions (Zollikofer et Ponce de León 1995 ; Semal *et al.* 2005). Il existe de nombreuses méthodes qui varient en fonction de leur coût et de leur rapidité, la plus couramment utilisée étant la stéréolithographie (Kelley *et al.* 2007).

La majorité des reconstructions virtuelles est focalisée sur le crâne (Chapman *et al.* 2010). La première d'entre elles est celle de Kalvin (1995), suivie par de nombreuses autres comme par exemple celles proposées par Gunz (Gunz *et al.* 2004 ; Gunz 2005 ; Gunz *et al.* 2009 ; 2011), Bennazzi (2009b), Ponce de León (1999), Grine (2010), Neubauer (2004), Zollikofer (2005) ou plus récemment, Guipert (Guipert *et al.* sous presse). En paléoanthropologie, l'intérêt pour le matériel infra-crânien a longtemps été moindre, ce qui explique que les reconstructions virtuelles de matériel postcrânien sont plus rares (Sylvester *et al.* 2008 ; Chapman *et al.* 2010).

Récemment, trois reconstructions de deux bassins fossiles ont été proposées : un bassin australopithèque, Sts 14 (Berge et Goularas 2010) et un bassin néandertalien, Tabun C1 (Ponce de León *et al.* 2008 ; Weaver et Hublin 2009). Ces deux derniers travaux, faits sur le même individu, permettent d'aborder la question de la subjectivité de la méthodologie virtuelle : les conclusions proposées par ces auteurs ne s'accordent pas. À travers le choix des méthodes, des techniques ou de l'échantillon de référence s'exprime une subjectivité qu'il faut prendre en compte.

Dans ce sens, la reconstruction de Regourdou 1 s'inscrit donc pleinement dans la lignée des reconstructions virtuelles précédentes et particulièrement de celles de Tabun C1. En effet, en nous basant sur des techniques semblables mais à partir d'un nouveau spécimen, nous proposons une nouvelle analyse fonctionnelle du canal pelvien néandertalien. Au-delà des

nouvelles interprétations obstétricales de la morphologie pelvienne néandertalienne, cette étude, et particulièrement notre protocole, permettra de rediscuter à la fois des techniques et de l'interprétation de ce mode de reconstruction.

Notre travail sur la ceinture pelvienne de Regourdou 1 se place ainsi au cœur d'un contexte scientifique enrichi par les récentes avancées de la paléoanthropologie virtuelle. De nouvelles hypothèses, de nouveaux points de vue ont été proposés, notamment sur la morphologie pelvienne. Dans le cadre de l'évolution humaine, l'analyse de la morphologie pelvienne et de ses caractéristiques au sein de chaque espèce de la lignée a son importance. Elle permet de discuter des mécaniques obstétricales modernes et d'aborder les questions de leur mise en place et de leur évolution.

I.2. La parturition moderne : description générale, interaction entre les morphologies fœtale et pelvienne

La parturition[1] humaine moderne est un processus biologique complexe, caractérisé par une succession de mouvements dont la difficulté et la durée ont favorisé l'émergence de nombreux rites et gestes d'accompagnement de la parturiente (Trevathan 2010, 2011). Cette complexité explique aussi l'importance des conséquences de l'accouchement sur la mère et l'enfant, ainsi que sur le groupe.

Pour mieux comprendre ces conséquences physiologiques, nous devons considérer plusieurs niveaux d'étude de l'accouchement moderne. Il faut i. décrire son déroulement physiologique, ii. aborder les conséquences de cet événement pour la mère et l'enfant, iii. détailler les caractéristiques biologiques modernes qui sont associées à sa mise en place au cours de l'évolution humaine.

[1] Le terme parturition désigne l'accouchement « naturel ». On l'utilise aussi pour désigner la mise-bas de l'ensemble des mammifères. C'est donc un hyperonyme d'accouchement, qui désigne l'accouchement accompagné et ne concerne donc que l'espèce humaine. Dans notre manuscrit, afin d'éviter trop de répétitions, nous utiliserons ces deux termes, en conservant cette distinction dans la mesure du possible.

I.2.1. L'accouchement moderne et son déroulement

La connaissance des mécanismes de l'accouchement moderne est essentielle en paléo-obstétrique ; elle permet en effet de mettre en évidence les liens entre la morphologie pelvienne et les mécaniques obstétricales. De plus, dans ce travail, nous voulons non seulement décrire l'accouchement néandertalien mais aussi intégrer cet événement biologique dans un cadre plus large, physiologique et social.

Afin de pouvoir aborder ces deux thématiques, il est indispensable de présenter les caractéristiques de la naissance moderne, qui serviront de base de discussion.

I.2.1.1. Déroulement de l'accouchement moderne

Chez l'Homme, la proximité de dimensions entre la tête fœtale et le bassin maternel, ainsi que les caractéristiques morphologiques de celui-ci, induisent un accouchement dont les mécaniques sont complexes (Farabeuf et Vanier 1908 ; Malinas et Favier 1979 ; Raynal *et al.* 2005 ; Bouhallier 2006).

Le canal pelvien moderne est découpé en trois plans (Figure 1) : le détroit supérieur, qui marque l'ouverture du canal et forme un angle de 60° avec l'horizontale, le détroit moyen, au sein même de la cavité pelvienne qui passe par les épines sciatiques, et le détroit inférieur qui forme un angle de 11° avec l'horizontale. La disposition de ces trois plans est appelée morphologie en segment de tore (un tore étant un tube courbé et fermé sur lui-même). De la différence d'orientation entre le plan du détroit supérieur et le plan du détroit inférieur résulte une angulation entre les axes de ces détroits, d'environ 120-130°.

Avant même le début du travail, la position du fœtus à terme[2] dans l'utérus maternel est une donnée importante pour le déroulement de l'accouchement : la morphologie du sacrum, avec notamment la formation du promontoire très en avant dans la cavité impose au fœtus une position le plus souvent en oblique, à l'entrée du bassin (Abitbol 1996a ; Bouhallier et Berge 2006).

---

[2] Dans cette présentation de l'accouchement moderne, l'enfant est désigné indifféremment par les termes de fœtus à terme, d'enfant ou de mobile fœtal, expressions employées par les obstétriciens (Schaal *et al.* 1998).

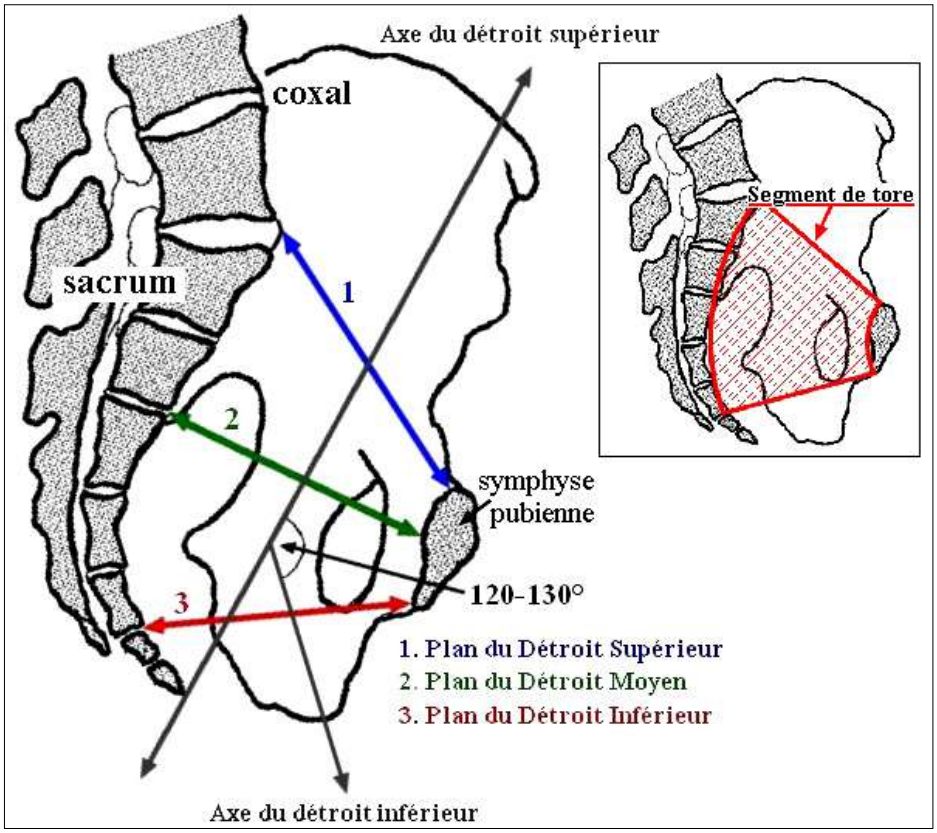


Figure 1. Les trois détroits obstétricaux.

Vue sagittale. L'axe du détroit supérieur est aussi l'axe d'engagement. Modifié d'après (Schaal *et al.* 1998)

a. Position du fœtus dans l'abdomen maternel

Deux critères sont à prendre en compte : la présentation [définie par la partie du fœtus qui se présente en premier au niveau du détroit supérieur (Cunningham *et al.* 2010 ; Poujade *et al.* 2011)] et l'orientation de l'enfant dans la cavité.

Présentation

Les présentations sont définies selon trois grands groupes : les présentations céphaliques, les présentations podaliques (dites du siège) et les présentations transverses (Figure 2).

Les présentations céphaliques sont les plus fréquentes (97 à 98 %) ; (Cunningham *et al.* 2010). Quatre variétés sont décrites : la présentation de l'occiput qui est la plus commune (95 % des accouchements) ; la présentation du bregma (environ 1%), la présentation du front

(0,01%) et celle de la face (0,5%). Ces deux dernières sont fortement dystociques[3] (Zayed *et al.* 2008).

Figure 2. Présentations du fœtus lors de l'engagement.
a. céphalique, b. podalique et c. transverse. D'après Cunningham, et al. 2010.

Les présentations podaliques, dites du siège, représentent 2 à 3 % des accouchements en France, entre 3 et 4,2% dans le monde (Merger *et al.* 2001). Elles ne sont pas dystociques en elles-mêmes, dans la mesure où le diamètre bi-trochantérien dépasse rarement 10 à 11 cm. Le risque de dystocie réside dans la position de la tête : celle-ci s'engage en dernier et de manière défléchie, ce qui est peu compatible avec le bassin. Le danger est tel qu'en dehors de la présence d'un accompagnant expérimenté, le risque de mortalité maternelle et fœtale est considérable (Dubois et Grall 1990).

Les présentations dites « de l'épaule » ou transverses, ont une fréquence évaluée à 0,3 % environ. Ce ne sont pas des présentations à proprement parler, puisque l'accouchement spontané est alors impossible et qu'il faut procéder soit à un retournement de l'enfant, soit à une césarienne (Okonofua 2009).

Orientation

Pour définir l'orientation du fœtus dans l'utérus maternel puis dans le détroit supérieur, on utilise l'occiput, le menton, le nez, le bregma ou le sacrum comme repère. On peut donc

[3] Un accouchement est dit dystocique (en opposition à eutocique) quand sa progression est freinée ou empêchée par certaines difficultés.

décrire plusieurs positions possibles, en fonction de la relation entre le crâne (ou le siège) fœtal et le bassin maternel (Figure 3). Par exemple, le terme OP désigne une position où l'occiput (O) est en contact avec le pubis (P), OIGA celle où l'occiput est en contact avec l'os iliaque (I) gauche (G) antérieurement (A).

L'orientation en OP (occiput-pubis) ou en OS (occiput-sacrum) est impossible au moment de l'engagement en raison de l'avancement du promontoire sacré dans le détroit supérieur. Il existe donc six variétés de position pour les présentations du sommet (Figure 3). Les positions OIGA (occipito-iliaque gauche antérieure) et OIDP (occipito-iliaque droite postérieure) sont les plus fréquentes (57% pour OIGA et 33% pour OIDP), en raison de la morphologie de l'utérus, adapté à la présence des autres organes de l'abdomen (Malinas et Favier 1979 ; Schaal *et al.* 1998).

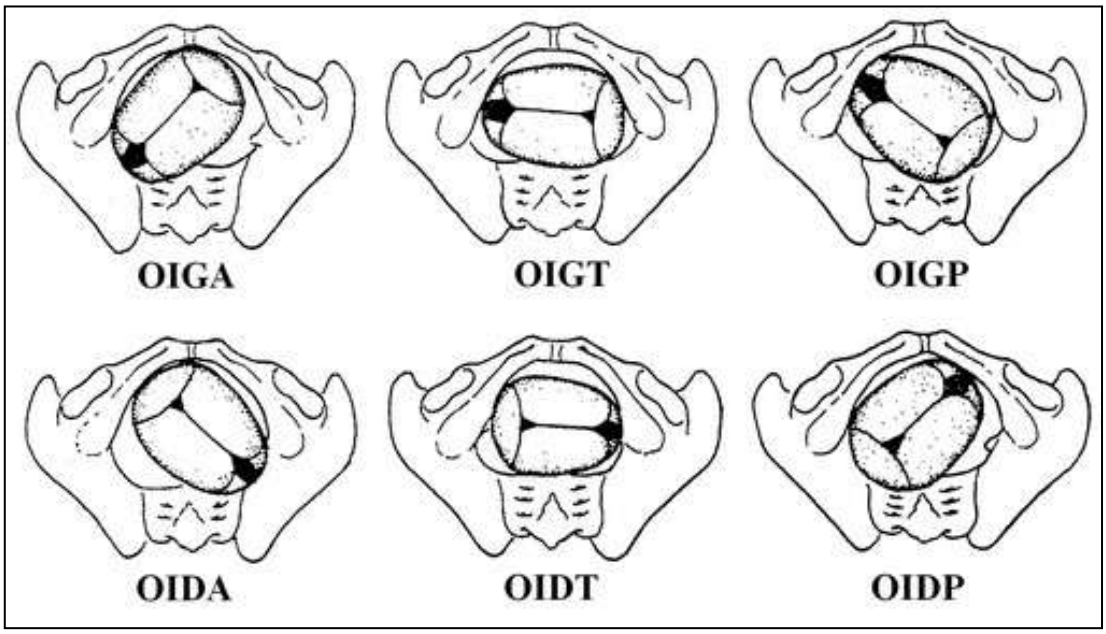


Figure 3. Position de la tête fœtale à l'entrée de la cavité pelvienne.

Vue inférieure du bassin, d'après Abitbol, 1996. OIGA (Occipital-Iliaque Gauche Antérieur) : l'occipital de l'enfant est en contact avec le coxal gauche antérieurement ; OIGT (Occipital-Iliaque Gauche Transverse) : l'occipital de l'enfant est en contact avec le coxal gauche transversalement ; OIGP (Occipital-Iliaque Gauche Postérieur) : l'occipital de l'enfant est en contact avec le coxal gauche postérieurement ; OIDA (Occipital-Iliaque Droit Antérieur) : l'occipital de l'enfant est en contact avec le coxal droit antérieurement ; OIDT (Occipital-Iliaque Droit Transverse) : l'occipital de l'enfant est en contact avec le coxal droit transversalement ; OIDP (Occipital-Iliaque Droit Postérieur) : l'occipital de l'enfant est en contact avec le coxal droit postérieurement.

Dans la suite de notre travail, considérant les présentations de l'occiput comme largement prédominantes et parmi elles l'orientation en OIGA étant la plus fréquente, nous avons fait le

choix de ne considérer que le cas d'un fœtus à terme se présentant ainsi. Les mécaniques obstétricales que nous allons aborder ainsi que nos résultats sur l'obstétrique néandertalienne seront décrits suivant cette position fœtale de départ : une présentation céphalique, orientée en OIGA.

b. Mécaniques obstétricales

L'accouchement est divisé en trois temps : l'effacement et la dilatation du col, l'expulsion du fœtus et enfin, l'expulsion du placenta, ou délivrance (Schaal *et al.* 1998). Les deux premiers temps sont souvent désignés par le terme « travail » et sont caractérisés par des contractions utérines régulières et efficaces qui permettent, outre l'effacement du col de l'utérus, la bonne descente du mobile fœtal. Ces trois temps sont très inégaux, par leur difficulté mais surtout par leur durée, avec parfois plusieurs heures pour le premier et quelques minutes pour le deuxième (Trevathan 1987).

Chez l'Homme moderne, les dimensions du bassin osseux féminin et du mobile fœtal sont très proches. L'orientation du canal et du plan d'engagement du fœtus (le détroit supérieur) différente de celle de la poussée utérine et la proximité du fœtus avec certaines structures osseuses (la symphyse pubienne, par exemple) engendrent des forces de réaction qui entrent en jeu de façon importante dans le déplacement fœtal (Malinas et Favier 1979). On parle de mécaniques obstétricales.

La deuxième phase de l'accouchement, dite phase d'expulsion, est divisée en trois temps : l'engagement, la descente et le dégagement (ou expulsion *stricto sensu*). À chacun de ces temps sont associés des mouvements particuliers du mobile fœtal.

L'engagement

On parle d'engagement quand « le plus grand diamètre de la présentation est passé au-dessous de la ligne promonto-rétro-pubienne » (Schaal, et al. 1998 p. 26 ; (Barbera *et al.* 2009).

Malinas évalue l'angle entre la poussée utérine et l'axe du cylindre d'engagement à 30-50° (Malinas, et al. 1979 p. 43). Cette non-concordance explique que l'engagement nécessite des mouvements complexes de la part du fœtus. Quatre opérations définissent l'accommodation du fœtus au détroit supérieur : l'orientation en oblique, l'asynclitisme[4], les déformations plastiques du crâne fœtal et surtout la flexion de la tête. Celle-ci est due à la réaction de la tête contre la symphyse pubienne et permet de présenter le diamètre sous-occipito-bregmatique plutôt que le diamètre occipito-frontal (Figure 4).

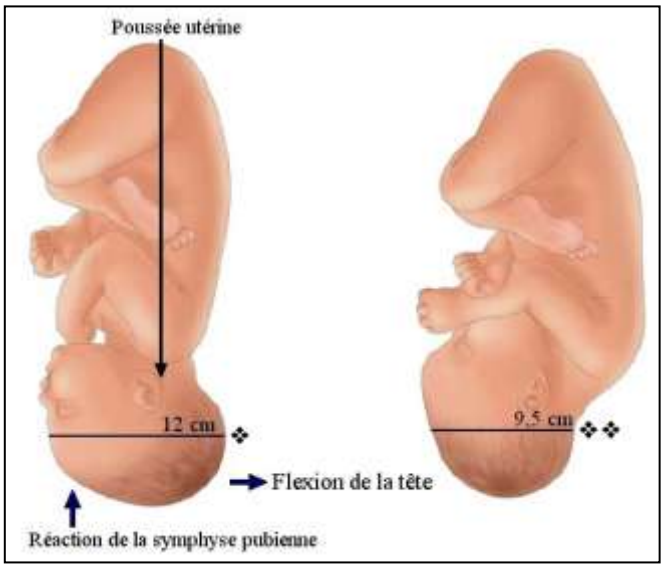


Figure 4. Flexion de la tête fœtale avant l'engagement.

D'après Cunnigham 2010. La poussée utérine propulse la tête fœtale contre la symphyse pubienne, ce qui engendre une force de réaction qui provoque la flexion de la tête. Le fœtus présente alors son diamètre sub-occipito-bregmatique (❖❖) plutôt que son diamètre occipito-frontal (❖).

Une fois ces phénomènes préparatoires mis en route, l'engagement de la tête fœtale se fait plus facilement. La force de poussée propulse la tête vers la margelle de la symphyse pubienne. Il en résulte deux forces, une force de réaction R et une force G, dite composante efficace (Figure 5). C'est cette deuxième force qui provoque l'entrée de la tête dans le plan d'engagement.

[4] Engagement de la tête fœtale en deux temps, en faisant passer une bosse pariétale après l'autre. Cela permet d'engager un crâne plus large que le détroit supérieur.

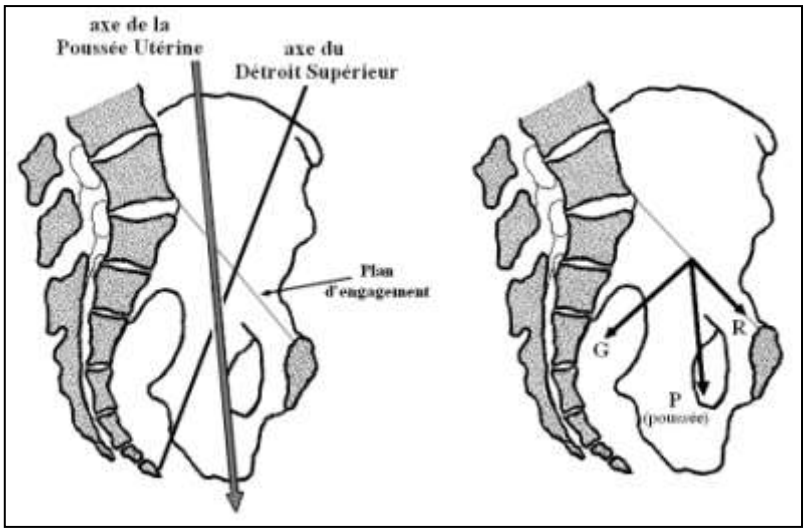


Figure 5. Direction de la poussée utérine et de sa composante efficace.

Modifié d'après (Schaal *et al.* 1998). La différence entre l'axe de la poussée utérine et l'axe du détroit supérieur (ou axe d'engagement) induit une rotation du fœtus après l'engagement. La poussée utérine se décompose en une force de réaction à la symphyse pubienne (R) et G, la composante efficace qui permet la descente du fœtus.

La descente

Plusieurs forces commandent la descente dans la cavité pelvienne : la pression du liquide amniotique, les contractions utérines, les efforts de poussée des muscles abdominaux et, en fin de descente, l'extension du fœtus.

Cette descente s'accompagne d'une rotation (Figure 6b.) de l'occiput fœtal vers le pubis maternel. L'angulation importante entre l'axe de la poussée utérine et l'axe du canal est telle que les contractions utérines propulsent le fœtus contre la partie antérieure du bassin et provoque une rotation de celui-ci, suivant le principe des leviers (Abitbol 1996a). La cavité étant parfaitement circulaire, rien ne vient entraver cette rotation. Une fois la tête en position occipito-pubienne, la rotation est stoppée et la tête est alors dans une position non seulement stable mais aussi définitive.

Pour Schaal (1998), cette rotation a aussi une nécessité anatomique. En effet, le grand axe de l'orifice de sortie est antéropostérieur, une morphologie imposée par le plancher pelvien (voir annexe, p.iii) et la fente périnéo-vulvaire, par laquelle passe le fœtus. Comme le fœtus s'est placé de façon oblique lors de l'engagement, la tête doit tourner afin de faire coïncider son diamètre sous-occipito-bregmatique avec le diamètre sous-sacro-sous-pubien.

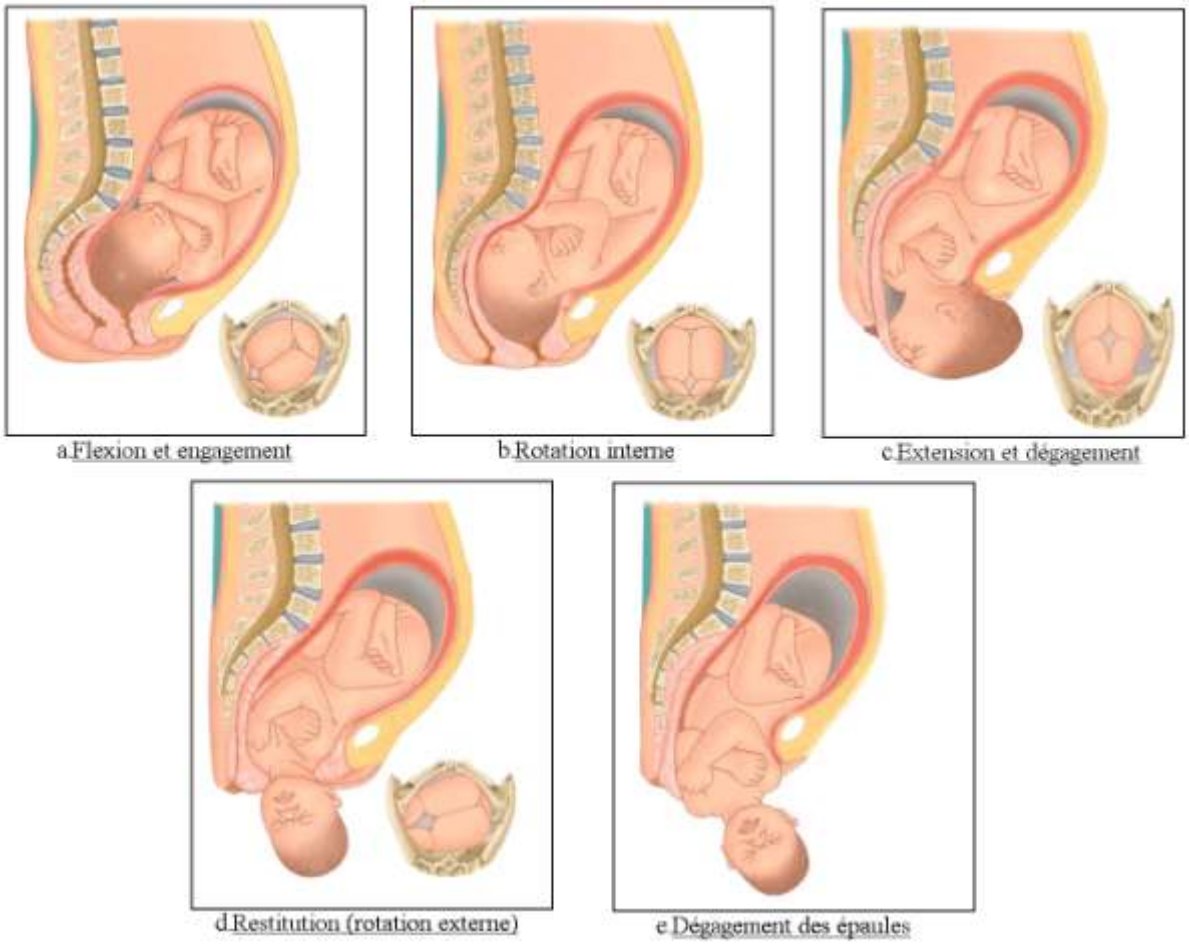


Figure 6. Mécaniques obstétricales.
Modifiée, d'après Cunningham 2010

Pendant la rotation, le mobile fœtal descend dans la cavité, d'au moins deux centimètres, dans l'axe du détroit supérieur. La direction du mouvement évolue progressivement, vers un axe vertical[5], grâce à un mouvement de pivot effectué autour de la symphyse (Malinas 1995). Ce mouvement de pivot permet au fœtus de s'accommoder à la morphologie « coudée », en segment de tore, du canal pelvien (Bouhallier 2006).

L'expulsion

L'expulsion correspond à la traversée du détroit inférieur et au franchissement du diaphragme pelvien. Lorsque la circonférence d'engagement passe le détroit moyen (au

[5] Si la parturiente est debout ou accroupie.

niveau des épines sciatiques), l'occipital est bien engagé dans le plancher pelvien et visible par les praticiens. C'est un moment clé, notamment en raison de la position saillante dans la cavité des épines sciatiques, qui rétrécit les dimensions de la cavité (Abitbol 1996a). Lors de la descente, la rotation autour de la symphyse pubienne induit une extension progressive de la tête fœtale (Figure 6c). Cette désolidarisation entre la tête et le tronc permet l'expulsion successive des différentes structures de la tête, de l'occiput à la face. Lors de l'expulsion, le fœtus traverse les différents muscles du plancher pelvien, et principalement le périnée. Celui-ci est amplié, c'est-à-dire que son volume est fortement augmenté. C'est un moment crucial, où la pression sur les tissus mous est maximale.

Le fœtus est expulsé de façon anté-ischiatique (Joulin 1864 ; Malinas et Favier 1979). Une fois dégagée, la tête effectue spontanément une rotation pour se remettre dans l'axe du dos : c'est la restitution (Figure 6d). Le reste du corps suit les mêmes temps d'engagement, de descente et de rotation dans l'excavation pelvienne. Le passage des épaules se fait en deux étapes, grâce à la rotation du diamètre bi-acromial autour de la symphyse (Figure 6e) : l'épaule antérieure, d'abord, se glisse sous la symphyse pubienne et l'épaule postérieure suit dans un deuxième temps grâce à une légère ascension du fœtus. Le passage du siège et des membres se fait sans difficulté.

La bonne mise en place des mécaniques obstétricales et la bonne progression de l'accouchement moderne est basée sur une adaptation du fœtus au bassin (Aidouni 2009). Toute anomalie ou rétrécissement du bassin peut donc être à l'origine de difficultés : on parle de dystocie.

La dystocie

On distingue les dystocies dynamiques, dues à une faiblesse des contractions musculaires ou utérines et les dystocies mécaniques (Schaal *et al.* 1998).

Ces dernières résultent de ce qu'on appelle la disproportion céphalo-pelvienne (Schaal *et al.* 1998 ; Cunningham *et al.* 2010, p.464). En général, celle-ci a pour cause une mauvaise

position du fœtus lors de l'engagement (Aidouni 2009 ; Cunningham *et al.* 2010, p. 465). Toutefois, certaines pathologies peuvent avoir pour conséquence une déformation du bassin et donc une augmentation du risque de dystocie. C'est le cas par exemple du rachitisme, de l'ostéomalacie, de la poliomyélite ou de la tuberculose (Magnin et Pellissier 1978).

Cette dystocie peut intervenir à tous les niveaux de l'expulsion fœtale. Au niveau du détroit supérieur, on parle de dystocie d'engagement ; elle représente 4,5 % des naissances modernes (Schaal *et al.* 1986). La dystocie de la descente peut être due à un raccourcissement de la cavité pelvienne au niveau du détroit moyen, elle est plus fréquente que la dystocie d'engagement (Cunningham *et al.* 2010). Enfin, la dystocie du détroit inférieur est rare, elle est due à une contraction du détroit inférieur, dont la fréquence est d'environ 1% (Floberg *et al.* 1987). Peu fréquente, la dystocie des épaules est la plus dangereuse car la plus difficile à résoudre (Pecorari 1999). Elle représente 0,6 à 1,4 % des accouchements (Gottlieb et Galan 2007) et est principalement due à un surpoids de l'enfant (MacKenzie *et al.* 2007). De nombreuses manœuvres obstétricales permettent de résoudre ces dystocies sans avoir recours à la césarienne (Farabeuf et Vanier 1908 ; Cunningham *et al.* 2010).

Dans le cadre de la paléo-obstétrique, seules sont disponibles les données osseuses concernant le fœtus et la mère, nous ne parlerons donc que de dystocie mécanique.

L'ensemble de ces mécaniques obstétricales font de la naissance humaine moderne une naissance unique au sein des Primates, non pas à cause de la présence de ces mécaniques mais plutôt en raison de la complexité de celles-ci, de la durée et de la difficulté du travail (Rosenberg 1992 ; (Trevathan 1987 ; Bouhallier 2006). La dystocie ou la disproportion céphalo-pelvienne ne sont par contre pas spécifiques à l'Homme, on les retrouve chez de nombreux autres mammifères (Nowak *et al.* 2000 ; Hermes *et al.* 2008) et elles sont très bien documentées chez les Primates (Sesbuppha *et al.* 2008 ; Stockinger *et al.* 2011).

Une autre particularité de la parturition humaine réside dans le comportement avant, pendant et après l'événement. En effet, si l'accouchement des Grands Singes ou des autres Primates non-humains se fait solitairement et isolé du reste du groupe (Rosenberg, *et al.*

2002), il n'en va pas de même pour l'Homme qui a développé un accompagnement de la parturition (Bartoli 2010 ; Trevathan 2011).

L'accouchement est donc un processus complexe, dont le déroulement biologique chez l'Homme est un particularisme au sein des Primates et des Mammifères. Au-delà même de l'événement biologique en lui-même, les caractéristiques de l'accouchement (lieu, moment, conséquences) font de la naissance humaine moderne une naissance particulière.

I.2.1.2. Données contextuelles sur l'accouchement

L'accouchement fait intervenir plusieurs mécanismes physiologiques, qui règlent principalement la durée de gestation et le déclenchement de ce dernier, mais aussi des choix bio-culturels, comme pour le lieu de la parturition. Dans un contexte paléoanthropologique, la connaissance de ces caractéristiques permettra d'aborder l'accouchement néandertalien dans sa globalité, sans se restreindre aux mécaniques obstétricales. Dans cette optique, il est aussi important de s'intéresser aux conséquences de l'accouchement, sur la mère et sur l'enfant.

a. Cadre spatio-temporel de l'accouchement

L'accouchement est un moment capital, découpé en plusieurs étapes. Celles-ci s'organisent de manière très variable, dans le temps et l'espace.

Détermination du déclenchement de l'accouchement

Le déclenchement de la parturition est régi par deux systèmes différents : le premier gère la durée de la gestation et définit le moment à partir duquel le fœtus peut ou doit être expulsé ; le second décide du moment de la parturition au sein du cycle circadien (Viswanathan et Davis 1992).

La durée de la grossesse humaine moderne est de 38 semaines[6], soit 266 jours (Patel *et al.* 2004 ; Liao *et al.* 2005) ; l'intervalle de normalité est entre 37 et 42 semaines (Liao *et al.* 2005), ce qui représente environ 90% des naissances (Slattery et Morrison 2002). Cette durée est nettement supérieure à ce que l'on retrouve chez d'autres primates [165 jours chez les macaques, 230 jours chez les chimpanzés ou 255 jours chez les gorilles, par exemple (Jewett et Dukelow 1972 ; Harvey et Clutton-Brock 1985 ; Silk *et al.* 1993)]. On peut l'expliquer par la masse globale du fœtus humain, relativement importante par rapport à la masse maternelle (Martin 2007 ; DeSilva 2011). En effet, à sa naissance, le bébé humain représente 4 à 6% du poids de sa mère[7], contre 3% pour le petit chimpanzé (DeSilva 2011). Si on met en rapport la masse importante du fœtus humain et la durée de la gestation humaine, cette dernière est finalement courte, ce qu'on peut mettre en relation avec la nécessité de limiter la taille fœtale avant l'accouchement (Plunkett *et al.* 2011). Par ailleurs, la durée de la gestation est soumise à différents facteurs. La santé et l'activité maternelle sont des critères majeurs (Fried *et al.* 1984 ; Dobak *et al.* 2006 ; Fogle *et al.* 2006), tout comme sa masse corporelle avant la conception et au début de la grossesse (Stotland *et al.* 2006).

La parturition est déclenchée par la production de différentes hormones, dont l'œstrogène et l'ocytocine (Wadhwa *et al.* 1998 ; Entringer *et al.* 2008 ; Buss *et al.* 2009). Cette production est en partie induite par le placenta : on parle d'horloge placentaire (Ferre 2003). C'est un mécanisme encore peu connu, tant sont importantes les interactions entre les différents facteurs, hormonaux ou immunitaires (Kamel 2010 ; Muglia et Katz 2010), peut-être d'origine génétique (Plunkett *et al.* 2011). De la même façon, la synchronisation du déclenchement de l'accouchement, au sein du cycle circadien, est contrôlée par la production de certaines molécules, comme la mélatonine, par exemple (Olcese 2012 ; Waddell *et al.* 2012). Chez les Primates, les espèces diurnes donnent naissance majoritairement la nuit, alors que les espèces nocturnes semblent favoriser le jour (Trevathan 1987, p.94). Cela peut s'expliquer par la volonté de se cacher des prédateurs réguliers mais aussi de ne pas

[6] Ou 40 semaines d'aménorrhée
[7] On parle ici du poids global. La relation entre le poids encéphalique fœtal et maternel est très différente, voir p. 67.

« handicaper » le groupe, la mise-bas pouvant présenter un fort ralentissement dans l'accès à la nourriture (Jolly 1973). Chez les grands singes, la mise-bas semble se faire majoritairement la nuit (à 68 %), mais cela ne résulterait pas de réelles pressions de survie (Trevathan 1987).

Chez l'Homme, la majorité des accouchements a lieu dans la première moitié de la journée (Jolly 1972, 1973) avec un pic entre 3h du matin et midi, et une baisse entre 13h et 20h (Kaiser et Halberg 1962 ; Trevathan 1987). D'après Trevathan *(ibid)*, ce pic matinal peut aussi s'expliquer par le fait que c'est une période où l'ensemble du groupe est réuni, apte à entourer et secourir la mère.

Durée du travail

La durée du travail chez les femmes est très variable. Dans son étude de près de 3000 accouchements, Adams en donne une estimation, entre cinq et treize heures (Adams *et al.* 2012). Au sein même de l'accouchement, la durée de chacune des étapes décrites ci-dessus est très différente. L'expulsion du fœtus dure environ 13 (±10) minutes (Desmidt 2011), le travail préliminaire peut atteindre plusieurs heures (Trevathan 1987).

Cette durée est soumise à différentes influences : la parité (Gross *et al.* 2006), la position d'accouchement (Ragnar *et al.* 2006 ; Desmidt 2011), le poids de la mère (Norman *et al.* 2012) mais aussi son état psychique (Law 1954 ; Adams *et al.* 2012). Les conséquences d'un accouchement trop long pouvant être graves, surtout pour la mère (Saunders *et al.* 1992 ; Rouse 2008), on comprend l'importance d'en maitriser la durée.

De nombreuses données soulignent que la parturition humaine diffèrerait de celles des autres Primates par la durée et l'intensité du travail (Rosenberg et Trevathan 2002). En effet, celui-ci serait beaucoup plus long chez l'Homme, avec une durée pouvant dépasser les 24 heures dans certains cas extrêmes (Trevathan 1987, p.96). Néanmoins, il faut souligner que cette durée en apparence bien plus importante que ce qu'on a pu observer chez les autres Primates, peut être un artefact, créé par le fait que les femmes signalent très rapidement la présence de contractions, alors qu'il est très difficile de déterminer le réel commencement du travail dans la vie sauvage (Trevathan 1987, p.97). La prise en compte de ce biais amène à une durée du travail équivalente à celle des autres primates (Lindburg et Dessez Hazell 1972),

ce qui remettrait en question l'hypothèse d'un accouchement humain plus dangereux car plus long.

Lieu de la parturition

Chez les Primates non-humains, l'accouchement se fait généralement à l'écart du groupe, pour protéger le nouveau-né de toute attaque de ses congénères (Dunbar et Dunbar 1974). C'est donc un événement particulièrement solitaire (Trevathan 1987 ; Rosenberg et Trevathan 2002). Nous avons déjà souligné que chez l'Homme, la parturiente n'est pas isolée. Lors d'un enregistrement des conditions de mise au monde au sein de 296 groupes culturels, l'assistance systématique lors de la naissance a été montré pour 272 groupes, les 24 autres ne présentant un accompagnement que lors de certains cas spécifiques (première naissance, danger ou problème lors du processus) ; (Rosenberg et Trevathan 2002).

Ce comportement peut s'expliquer de multiples façons. D'abord, l'expulsion en occiput-antérieur nécessite de l'aide pour « réceptionner » l'enfant, dégager ses voies respiratoires et couper le cordon ; la mère ne peut le faire elle-même, car cela risque de blesser l'enfant (Trevathan 1987, 1988). Ensuite, la dystocie des épaules représente un réel risque de mortalité pour la mère et l'enfant, et une aide extérieure permettant de dégager les épaules grâce à différents mouvements est essentielle (Trevathan 1987 ; Trevathan, et al. 2000).

L'accompagnement de la parturiente est donc physique et interventionniste lors même de l'accouchement. Cette empathie coopérative pourrait être apparue avec l'accouchement moderne (Abitbol 1996 ; Raynal 2007 ; Rosenberg 1992 ; Rosenberg, et al. 2001, 2002 ; Trevathan 1987). On peut même considérer que l'accompagnement pré-accouchement, dès les premiers signes de la grossesse, est tout aussi ancien comme le prouverait l'existence encore significative de la pré-éclampsie et de l'éclampsie. La persistance de ces deux complications de la grossesse, largement défavorables d'un point de vue évolutif, pourrait ainsi être la preuve d'un accompagnement actif de la femme enceinte (Rosenberg, et al. 2007).

À cette assistance sont associés des rites et des pratiques mais aussi des lieux particuliers. L'analyse des systèmes culturels construits autour de la naissance montre à chaque fois

l'organisation d'un lieu spécifique (Steer et Flint 1999), qui doit répondre à des critères d'accès aux ressources, de température et d'espace très précis (O'donnel 2004).

b. Les conséquences de l'accouchement

La difficulté de la parturition humaine est souvent associée à la dangerosité de l'accouchement et à la nécessité d'un accompagnement de la parturiente. Malgré les limites de cette hypothèse, il est clair que la durée du travail, les mécaniques obstétricales complexes et la proximité de dimensions entre le canal pelvien maternel et le corps fœtal font de l'accouchement un événement dangereux, parfois mortel, et souvent lourd de conséquences.

Conséquences de l'accouchement sur le corps maternel

Le corps maternel est « bouleversé » par la grossesse et plus encore par l'accouchement. Le squelette, les tissus musculaires mais aussi le système circulatoire sont fortement mobilisés et peuvent subir certains dommages dont les conséquences sont parfois fatales (Hall et Bewley 1999).

Mortalité maternelle

D'après la Classification internationale des maladies (Oms 1993), la mort maternelle est « le décès d'une femme survenu au cours de la grossesse ou dans un délai de 42 jours (soit la durée du post-partum, *nda*) après sa terminaison ». Ces décès se répartissent en deux groupes: les décès par cause obstétricale directe, qui résultent de complications lors de l'accouchement (infection, hémorragie) et les décès par cause obstétricale indirecte, qui résultent d'une maladie préexistante aggravée par les effets physiologiques de la grossesse (par exemple, une maladie cardio-vasculaire).

Chaque jour dans le monde, environ 800 femmes meurent de causes liées à la grossesse et à l'accouchement [dont 99% dans les pays en développement (Hogan *et al.* 2010 ; Oms 2012a)], soit près de 500 000 morts pour 129 millions de naissances par an. En France, on

estime ce taux à 9,6 décès pour 100 000 naissances, ce qui représenterait 0,5 % des causes de décès des femmes en âge d'avoir des enfants [Comité national d'experts sur la mortalité maternelle (Anonyme 2006)]. Les causes principales de ces décès sont des causes obstétricales directes (73%), et notamment l'hémorragie (25%) ; (Bouvier-Colle 2007). L'arrêt du travail suite à une disproportion céphalo-pelvienne représente environ 12 % des décès (Who 2005).

L'évolution de la mortalité maternelle a été principalement analysée au sein des pays occidentaux et au cours du dernier siècle. Avant cela, l'enregistrement précis de la mort d'une parturiente est très rare et les démographes sont confrontés à de nombreux biais dans le recensement de ce type de mortalité [falsification d'avis de décès, morts « cachées », erreurs de diagnostic (Loudon 1992 ; Jusot 1996)]. Toutefois, en Europe, certaines données permettent d'évaluer la mortalité maternelle au XVIIe siècle, avec par exemple un taux pouvant aller jusqu'à 300 décès pour 10 000 naissances en Angleterre en 1650 (Willmott Dobbie 1982), soit 3% (près de dix fois plus que ce qu'on observe actuellement).

Il est très compliqué d'évaluer l'impact de la grossesse et de la parturition sur une population de chasseurs-cueilleurs. On sait qu'au XVIIe siècle, l'Angleterre est un pays très en retard quant aux soins maternels et aux qualifications des sages-femmes comparé à d'autres pays européens (Loudon 1992) : c'est une situation d'extrême isolement pour la parturiente, dû entre autre à l'importante démographie de Londres à cette époque ; on peut donc difficilement mettre ces données en parallèle avec celles d'un groupe plus petit, où la solitude individuelle est peut-être moins importante. De plus, les différences de densité de population et de sédentarisation font qu'on ne peut pas comparer l'état sanitaire de la population anglaise du XVIIe siècle avec celui de groupes nomades du Pleistocène. Les données actuelles pour les pays en développement, où les populations non industrialisées sont plus nombreuses, sont d'environ 500 décès pour 100 000 naissances (Goorden 2000), soit 0,5%. Toutefois, ces enregistrements sont faits dans un cadre médicalisé et de ce fait, ils ne reflètent pas réellement la mortalité maternelle au sein d'une population de chasseurs-cueilleurs traditionnelle. Les données ethnographiques chez des populations d'agriculteurs ou de chasseurs-cueilleurs traditionnelles se situeraient entre 9 et 20 décès pour 1000 naissances, soit entre 0,9 et 2% (Aberle 1934 ; Kaunitz *et al.* 1984 ; Jusot 1996). Dans certains cas, plus extrêmes, des

chiffres de l'ordre de 10 à 15 % ont été proposé, basés sur l'observation d'individus momifiés (Arriaza *et al.* 1988). Ces chiffres concernent des populations spécifiques (ici des populations chiliennes précolombiennes) et mettent en évidence la variabilité de la mortalité maternelle selon les groupes ainsi que la difficulté d'accéder à de telles données.

Morbidité[8] *maternelle*

Sans être toujours aussi dramatiques qu'un décès, les conséquences de la grossesse et de la parturition sur le corps féminin et son fonctionnement peuvent être importantes. Elles sont souvent dues au processus même de la parturition et notamment à la pression exercée sur les tissus mous par le fœtus ou par les contractions (Ashton-Miller et Delancey 2009).

Les muscles du plancher pelvien forment un ensemble complexe, impliqués dans diverses fonctions organiques (Thor et De Groat 2010 ; Martínez-Gómez *et al.* 2012) et les atteintes de cette zone provoquent un dérèglement de ces fonctions. Les plus connues sont les atteintes musculaires, notamment sur le sphincter (*sphincter ani externus*) ou les muscles releveur de l'anus (*levator ani*) ; (Mouchel 2000) ; un certain nombre d'atteintes du tissu conjonctif ou encore de lésions nerveuses ont aussi été recensées (Tetzschner *et al.* 1996 ; Tetzschner *et al.* 1997 ; Mouchel 2000).

À ces différentes atteintes physiologiques sont associés des troubles fonctionnels variés, notamment sur le système uro-digestif (Smith *et al.* 1989 ; Amarenco *et al.* 1991 ; Mouchel 2000 ; Ashton-Miller et Delancey 2009). La modification de la paroi vaginale antérieure peut aussi provoquer un phénomène de prolapsus organique (Lazarevski 1998 ; Whitcome *et al.* 2007 ; Ashton-Miller et Delancey 2009). Ces dysfonctions sont avant tout physiques, mais elles peuvent avoir une incidence sociale (Parente *et al.* 2009).

La fréquence et l'intensité des atteintes sur le plancher pelvien, comme celles des troubles fonctionnels, dépendent de nombreux paramètres. La durée du travail en est un des principaux et notamment la deuxième étape de celui-ci (Kearney *et al.* 2006 ; Lanzarone et Dietz 2007 ; Brown *et al.* 2011 ; Phull *et al.* 2011). Les accouchements dystociques (voir p. 40), qui

[8] La morbidité désigne les caractéristiques physiologiques marquant un dysfonctionnement ou une maladie.

représentent 8 à 10 % des accouchements (Algovik 2008) représentent un risque de mortalité accrue pour la mère et l'enfant (Saunders *et al.* 1992) et peuvent aussi causer des dommages sur le diaphragme pelvien.

Si aujourd'hui, la majorité de ces atteintes peuvent être soignées ou tout au moins pondérées, on peut supposer que de tels troubles fonctionnels dans une société non médicalisée peuvent avoir d'autres conséquences. Il est de plus important de considérer que ces modifications ont des incidences sur la vie courante mais aussi sur les grossesses et les accouchements suivants, avec entre autre un allongement de la deuxième étape du travail, inscrivant ainsi la femme dans un schéma obstétrical complexe (Martínez-Gómez *et al.* 2012).

Conséquence de l'accouchement sur le nouveau-né

Au cours de la naissance, les différents mouvements de flexion ou de rotation ne présentent aucun risque pour le fœtus. Même si la durée du travail ou l'enroulement du cordon sont des dangers non négligeables, l'accouchement en lui-même n'est pas la première cause de mort néonatale. Néanmoins, il peut être la cause d'atteintes physiques ou neurologiques pour le nouveau-né.

Mortalité néonatale

La mortalité néonatale représente le nombre d'enfants nés vivants et décédés dans leurs 28 premiers jours (soit un mois lunaire), rapporté au nombre de naissances vivantes (Who 2006). On peut distinguer la mortalité néonatale précoce, dans la première semaine, et la mortalité néonatale tardive, dans les 3 semaines suivantes (Loudon 1992).

En 2009, 3,3 millions d'enfants sont morts dans leur premier mois de vie (Oestergaard *et al.* 2011), soit 2,5 % des naissances. La mortalité néonatale représente près de 40% des décès des enfants de moins de cinq ans (Oms 2012b), la cause première de cette mortalité étant la prématurité [70% des décès (Smith 2007)]. L'accouchement lui-même est en cause dans environ 35 % des cas (Who 2006). Près de 99% de ces morts néonatales ont lieu dans les pays en voie de développement.

Morbidité néonatale

Les mécaniques obstétricales et la durée du travail peuvent avoir d'importantes répercussions sur la santé de l'enfant (Towner *et al.* 1999 ; Murphy *et al.* 2001 ; Buttin *et al.*). L'atteinte la plus courante est la blessure au plexus brachial (O'leary 2009a ; Schifrin et Cohen 2009). Elle peut générer une paralysie des bras, le plus souvent non permanente (Schifrin et Cohen 2009). Elle touche 0,5 à 5 % des naissances eutociques et jusqu'à 80 % des naissances dystociques (Donnelly *et al.* 2002 ; Gurewitsch *et al.* 2006). La dystocie peut aussi être responsable de fracture de la clavicule ou de l'humérus (Gherman *et al.* 1998).

Un accouchement trop long peut aussi avoir de lourdes conséquences pour l'enfant : la pression subie par la tête fœtale pendant sa descente est importante, jusqu'à deux fois celle du liquide amniotique (Rempen et Kraus 1991). Une exposition trop longue à cette pression peut avoir des répercussions sur l'oxygénation du cerveau (Aldrich *et al.* 1995 ; Sanchez-Lara *et al.* 2010). Toutefois, dans le cadre d'un accouchement eutocique (voir p. 34) de durée normale, cette pression ne représente aucun danger (Sorbe et Dahlgren 1983 ; Svenningsen *et al.* 1988 ; Pu *et al.* 2011 ; Miller 2012).

Au-delà de l'individu : accouchement et démographie

L'étude de la démographie d'une population peut être considérée comme celle de deux volets : la fertilité et la mortalité (Scott et Duncan 2002 ; Hockett et Haws 2005). Or, on vient de le voir, la naissance est un événement capital où naissance et mort sont liées. Cet événement représente ainsi un enjeu important pour le groupe, qui joue là sa pérennisation, à la fois biologique et culturelle (Wells *et al.* 2012). L'étude du couple mère-enfant est donc essentielle en démographie.

Le lien direct existant entre la mortalité maternelle ou néonatale et la démographie explique l'importance du bon déroulement de l'accouchement pour la population (Bendich 2001 ; Di Cintio *et al.* 2001 ; Hockett et Haws 2005). La survie de l'enfant, donc d'un nouvel individu pour le groupe et celle de la mère en dépendent (Curtis *et al.* 1993 ; Boardman *et al.* 2002). La mort maternelle pose un triple problème pour le groupe : premièrement, l'effectif des individus adultes pouvant participer à la subsistance du groupe

diminue (Kaplan *et al.* 2000), deuxièmement, la mort d'une femme représente la non-venue d'un certain nombre d'enfants potentiels (O'donnel 2004) et enfin, troisièmement, sans sa mère, le nouveau-né se trouve en grande détresse et ne survit généralement pas (King 2003 ; Wells 2003a ; Crespi 2011). Ainsi, les conditions de la naissance peuvent avoir des répercussions importantes sur la démographie (Lummaa et Tremblay 2003).

La naissance est donc un événement dont le bon déroulement est essentiel. Plusieurs facteurs influent sur l'issue de l'accouchement (la durée du travail, les soins apportés à la parturiente, l'avancement de la grossesse) mais le plus important est la relation céphalo-pelvienne.

Travailler sur l'obstétrique d'une population à travers l'étude de la ceinture pelvienne implique donc de prendre en compte plusieurs données biologiques, indirectement liées à la parturition. La morphologie du bassin est soumise à l'influence de deux fonctions vitales : la locomotion et la reproduction. Chez l'Homme, la ceinture pelvienne s'est adaptée d'une part à la locomotion bipède et d'autre part, à l'encéphalisation (dont une des conséquences est un fœtus à terme dont la capacité crânienne est importante).

I.2.2. Locomotion et morphologie pelvienne moderne

La ceinture pelvienne est composée de trois os : le sacrum, qui prolonge la colonne vertébrale, articulé aux deux os coxaux, eux-mêmes articulés l'un à l'autre au niveau de la symphyse pubienne. Situé à l'intersection entre le tronc et les membres inférieurs, le bassin est un lieu important de transfert du poids du corps lors de la locomotion (Dalstra et Huiskes 1995 ; Vleeming *et al.* 2012). La morphologie du bassin moderne s'est donc adaptée à la bipédie (Aiello et Dean 1994).

I.2.2.1. Adaptation de la morphologie du bassin humain moderne à la bipédie.

Chez l'Homme, l'acquisition de la bipédie est accompagnée d'un bouleversement de la morphologie pelvienne, tant au niveau ostéologique (Lovejoy 2005a, 2005b) qu'au niveau des

tissus mous (Dart 1949 ; Gommery et Thackeray 2008 ; Weiner *et al.* 2008). Le système musculaire de la ceinture pelvienne et des membres inférieurs a ainsi été complètement réorganisé afin de permettre le maintien du tronc à la verticale du pelvis, le support des viscères ainsi que la marche ou la course sur deux membres uniquement.

En station érigée, le poids repose intégralement sur les deux membres inférieurs par l'intermédiaire du sacrum et de l'articulation sacro-iliaque (Reynolds 1931 ; Abitbol 1987b). Il en résulte un élargissement du sacrum et donc un agrandissement relatif du diamètre transverse du détroit supérieur : celui-ci acquiert une forme ellipsoïde dont le grand axe est transverse (Berge 1991a). Par ailleurs, l'obligation mécanique d'aligner à la verticale la ligne bi-acétabulaire et la ligne bi-auriculaire (pour favoriser la posture érigée) a provoqué une rotation du sacrum vers l'avant (Figure 7), qui, associée à la nécessité d'élargir la surface articulaire de la première vertèbre sacrée, est à l'origine du promontoire sacré[9] (Lessertisseur 1968 ; Bouhallier 2006).

La réorganisation (par rapport à une morphologie de Primates quadrupèdes) des muscles fessiers et ischio-jambiers[10] pour une bipédie efficace, qui nécessite abduction et extension influe sur la morphologie de l'aile iliaque (qui s'évase plus en avant et latéralement) et de l'ischium (qui devient plus robuste), comme sur celle de l'articulation coxo-fémorale (Snell et Donhuysen 1968 ; Stern 1972 ; Abitbol 1996a ; Sockol *et al.* 2007).

Ces différentes modifications (Figure 7) conduisent donc à une réduction de la cavité pelvienne, notamment antéropostérieurement (Abitbol 1988 ; Berge 1993), à une diminution de l'aire du détroit supérieur et à un changement de direction de l'axe du canal entre le détroit supérieur et le détroit inférieur (Lessertisseur 1968 ; Malinas et Favier 1979).

Chez les Mammifères, le diaphragme pelvien forme un « mur vertical » et est composé principalement de muscles impliqués dans le mouvement de la queue (Abitbol 1988), comme c'est le cas chez le majorité des Primates (Elftman 1932 ; Bouhallier 2006). Les grands singes, dépourvus de queue, présentent eux des muscles élévateurs de l'anus peu développés, à l'inverse des sphincters, qui font office de support viscéral (Schimpf et Tulikangas 2005).

---

[9] Voir annexes, p. ii et iii
[10] Voir annexes, p. iii

L'acquisition de la bipédie a fortement modifié les muscles du plancher pelvien (voir annexes, p. iii). Celui-ci est composé de trois groupes (Elftman 1932) : le premier comprend les muscles releveurs de l'anus (pubo-rectal, pubo-coccygien et ilio-coccygien) ; le second groupe est composé des sphincters et le troisième de muscles lisses, qui forment le plancher superficiel, ou périnée (Fatton 2005). Fréquemment désigné par le terme de « bassin mou », par opposition au bassin osseux, il permet le support des viscères (Elftman 1932 ; Cunningham *et al.* 2010) et constitue un entonnoir qui ferme l'excavation osseuse.

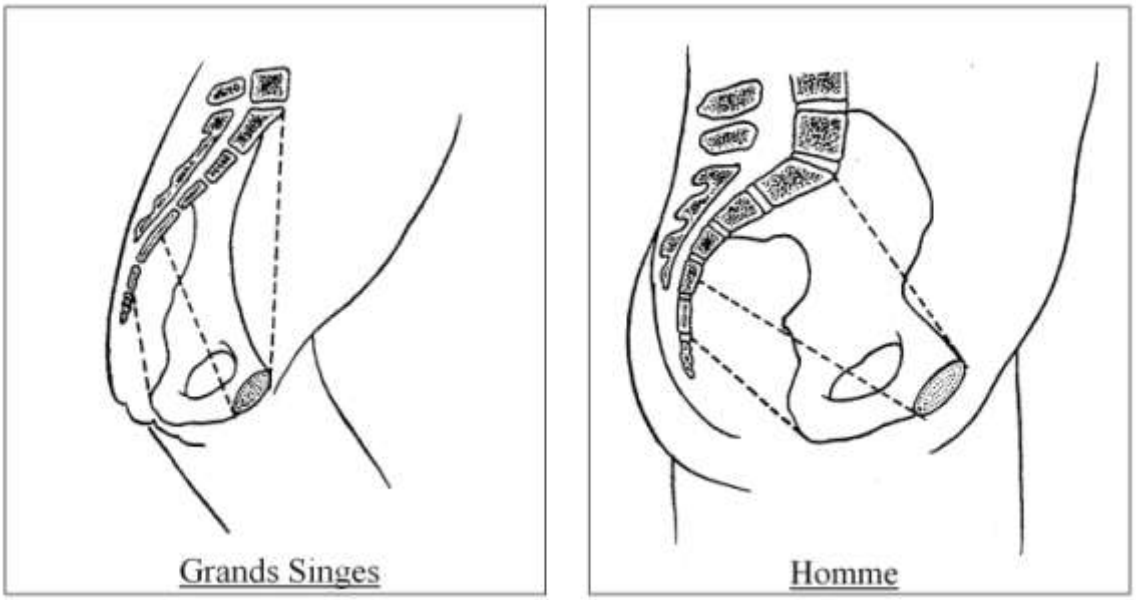


Figure 7. Comparaison entre un bassin de Pongidés et un bassin humain moderne.
La vue est une coupe sagitalle droite, d'après Abitbol 1996.

Lors de la phase de dégagement du fœtus et de son expulsion (la dernière phase de l'accouchement), cet ensemble musculo-aponévrotique représente un important obstacle. Les muscles sont déployés lors de l'accouchement par la pression de la présentation et, distendus à l'extrême, forment un canal musculo-membraneux prolongeant la filière pelvienne osseuse (Dietz et Wilson 2005 ; Quigley 2007 ; Parente *et al.* 2009 ; Cunningham *et al.* 2010 p.34). C'est ce qu'on appelle l'ampliation du périnée.

La bipédie n'exerce pas seulement une influence sur la morphologie pelvienne, osseuse ou musculaire. Son acquisition s'accompagne d'un bouleversement complet de la thermorégulation (Wheeler 1991b, 1991a ; Marino 2008 ; Ruxton et Wilkinson 2011) mais

aussi de la circulation sanguine (Abitbol 1995c ; Young 2007). Certaines pathologies humaines sont inhérentes à la locomotion bipède, en particulier la pré-éclampsie (Rosenberg et Trevathan 2007). L'implantation très invasive du placenta hémochorial chez l'Homme (Rockwell *et al.* 2003 ; Elliot et Crespi 2008), qui permet un meilleur échange de nutriments entre la mère et l'enfant (Haig 1993), serait ainsi une adaptation à la bipédie pour diminuer les risques de pré-éclampsie (Rockwell *et al.* 2003).

La morphologie pelvienne résulte donc d'une adaptation à la bipédie. La variabilité de cette région anatomique a été largement étudiée, notamment pour son implication dans l'obstétrique et dans la détermination du sexe.

I.2.2.2. Variabilité de la morphologie pelvienne chez l'Homme

Comme le crâne, le bassin humain a fait l'objet de nombreuses classifications, selon la « race » (Caldwell et Moloy 1933 ; Hoyme 1957 ; Walrath 2003) mais aussi selon le sexe et les conséquences reproductives de chaque patron morphologique (Washburn 1948 ; Schultz 1949). La mise en place de ces critères de ségrégation obstétricaux provoque un biais évident dont l'anthropologie aura du mal à se défaire (Walrath 2003). Deux classifications ont fortement marqué l'anthropologie : celle de Greulich et Thoms (1938), qui décrit quatre types de bassin en fonction du ratio entre les diamètres transverse et sagittal du détroit supérieur (dolichopellique, mesatipellique, brachypellique, patypellique), et celle de Caldwell et Moloy (1933), plus fréquente en anthropologie biologique (Figure 8). Quatre types y sont décrits, en fonction de la morphologie générale du détroit supérieur : gynécoïde, androïde, anthropoïde, playpelloïde, la forme gynécoïde étant la mieux adaptée pour la parturition (Caldwell et Moloy 1933).

Ces deux classifications présentent de nombreux biais (Walrath 2003). La mise en évidence de variabilité au sein de ces types (Krogman et Isçan 1986) ainsi que la grande variabilité globale de la morphologie pelvienne (Bruzek et Ferembach 1992 ; Bruzek *et al.* 1996 ; Driscoll 2010) ont poussé les anthropologues à questionner cette classification. Walrath (2003, p. 5) souligne par exemple « les périls de la pensée typologique » et rappelle

la volonté de l'époque d'une classification à but obstétrical critiquable aujourd'hui (Walrath 2003 ; Wells *et al.* 2012). Par exemple, le bassin gynécoïde, considéré comme le mieux adapté à la naissance moderne, ne concerne qu'à peine la moitié des femmes contemporaines (Malinas et Favier 1979).

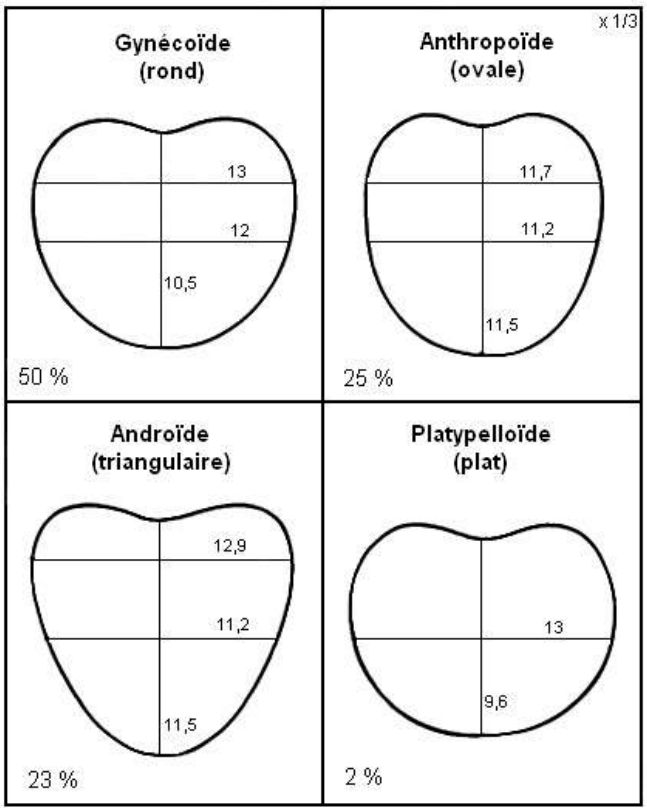


Figure 8. Classification du détroit supérieur du bassin anatomiquement moderne.
Selon Caldwell et Moloy (1933). D'après Malinas et Favier, 1979.

La variabilité morphologique du bassin peut être expliquée par différents facteurs. Parmi eux, l'influence du sexe est prépondérante.

I.2.2.1. Morphologie pelvienne et dimorphisme sexuel.

Le bassin est la zone anatomique du squelette humain dont la conformation est la plus dimorphique (Ferembach *et al.* 1979 ; Pickford et Chiarelli 1986 ; Tague 1992 ; Walrath 1997). Cela s'explique par une double adaptation des os de la ceinture pelvienne : à la bipédie et à la parturition (Walrath 1997 ; Correia *et al.* 2005).

En effet, c'est son adaptation à la fonction obstétricale qui permet de distinguer un bassin féminin d'un bassin masculin. La zone sacro-iliaque, la grande incisure ischiatique ou le complexe ischio-pubien sont donc particulièrement dimorphiques (Washburn 1948 ; Ridley 1995 ; Bruzek *et al.* 1996 ; Novak 2010) car leur morphologie reflète l'ouverture du canal pelvien (Genovés 1959 ; Tague 1994 ; Hager 1996 ; Walker 2005 ; Gonzalez *et al.* 2007). Outre ces trois grandes zones, un dimorphisme sexuel de plus ou moins grande importance a été mis en évidence sur le sacrum (Trotter 1926 ; Tague 2007 ; Novak 2010), sur la partie postérieure du coxal (Isaac 2002) ou encore sur la morphologie du foramen obturé (Bierry *et al.* 2010). Le dimorphisme peut aussi s'exprimer de façon indirecte, dans la relation entre une zone anatomique précise et d'autres variables corporelles. Par exemple, chez les femmes le diamètre bi-épineux est très corrélé au poids (Walrath et Glantz 1996 ; Frayer 2006 ; Leong 2006). Cela peut s'expliquer par l'importance obstétricale du diamètre bi-épineux d'une part (il représente la plus petite dimension du canal pelvien) et la forte influence du poids maternel sur les dimensions fœtales (Rosenberg 1986 ; Walrath et Glantz 1996) et (voir p. 66). Les différentes régions anatomiques du bassin reflètent donc de façon variable le dimorphisme sexuel (Washburn 1948 ; Coleman 1969 ; Bruzek 2002) : on parle de dimorphisme en mosaïque (Tague 1992 ; Marchal 2003).

Chez l'Homme, l'analyse de la morphologie du bassin est le meilleur outil pour la détermination du sexe (Bruzek et Ferembach 1992 ; Bruzek *et al.* 2005) et de nombreuses méthodes ont été développées à partir de cet ensemble osseux (Sauter et Privat 1954 ; Genovés 1959 ; Gaillard 1960 ; Howells 1965 ; Ferembach *et al.* 1979 ; Orban-Segebarth 1984 ; Majo 1992 ; Lee 2001 ; Bruzek 2002 ; Murail *et al.* 2005). Néanmoins, l'utilisation de ces méthodes se heurte à un problème majeur : la variabilité du dimorphisme sexuel.

On sait aujourd'hui que le dimorphisme est variable, tant par son intensité que par son expression. Le plus fort agent de variation est la population d'origine (Straus 1927 ; Washburn 1948 ; Davivongs 1963 ; Relethford et Hodges 1985 ; Rosenberg 2002a ; Walker 2005 ; Leong 2006 ; Gonzalez *et al.* 2007), ce qui peut rendre la construction d'une méthode « universelle » difficile (Walrath 1997 ; Murail *et al.* 2005). Ainsi, on ne peut

donner le sexe d'un individu issu d'une population dont on ne connait pas l'étendue de la variabilité morphologique.

Cela nous amène au problème de la détermination du sexe et du dimorphisme sexuel des espèces fossiles de la lignée humaine, une problématique primordiale en paléoanthropologie (Genoves 1954 ; Wolpoff *et al.* 1976 ; Berge *et al.* 1984 ; Tague et Lovejoy 1986 ; Rak et Arensburg 1987 ; Tague 1992 ; Abitbol 1995b ; Tague et Lovejoy 1998 ; Tague 2000 ; Rosenberg 2002a ; Tague 2005). Il est en effet probable que l'évolution morphologique du bassin ait été accompagnée d'une évolution du dimorphisme sexuel (Genoves 1954 ; Plavcan 2001 ; Marchal 2003 ; Gonzalez *et al.* 2007) mais les modalités de cette évolution restent inconnues : comment attribuer un sexe à des spécimens dont on ne connait pas le schéma de dimorphisme sexuel ?

La détermination sexuelle des représentants fossiles de la lignée humaine dépend beaucoup de la place du groupe considéré dans l'évolution humaine et de sa proximité morphologique avec l'Homme anatomiquement moderne (Walrath 1997). Par exemple, l'application du schéma du dimorphisme moderne aux Australopithèques pose question, en raison de leur trop grande différence en matière de locomotion et d'encéphalisation (Bruzek 1991 ; Walrath 1997). Malgré de nombreuses études proposant un sexe pour les spécimens connus à ce jour (Dart 1958 ; Tague et Lovejoy 1986 ; Häusler et Schmid 1995 ; Tague et Lovejoy 1998 ; Reno *et al.* 2003), cela reste sujet à caution (Plavcan 2003 ; Plavcan *et al.* 2005). Pour les espèces du genre *Homo*, les conclusions des auteurs semblent différentes. De nombreux auteurs, considérant que l'encéphalisation avancée d'*Homo erectus* induisait déjà de fortes contraintes sur la morphologie du bassin, préconisent l'emploi des critères modernes pour déterminer le sexe de ces individus (Tague et Lovejoy 1986 ; Ruff 1995 ; Walrath 1997 ; Lorenzo *et al.* 1998 ; Simpson *et al.* 2008 ; Bonmati *et al.* 2010 ; Ruff 2010).

Basée sur les mêmes considérations, la détermination sexuelle des Néandertaliens ne poserait *a priori* pas de réel problème. Ainsi, un sexe a été déterminé pour la majorité des individus néandertaliens, à partir de la morphologie pelvienne et particulièrement de la grande

incisure ischiatique (Fraipont et Lohest 1887 ; Boule 1912 ; McCown et Keith 1939 ; Heim 1974, 1982b ; Trinkaus 1983 ; Rak et Arensburg 1987 ; Rak 1991b).

La morphologie de la région ischio-pubienne chez les Néandertaliens a beaucoup questionné les chercheurs (Stewart 1960 ; Trinkaus 1976 ; Rosenberg 1988 ; Marchal 2000a). En effet, si on se place dans le schéma du dimorphisme sexuel moderne, tous les pubis néandertaliens (relativement longs et fins) sont féminins (Trinkaus 1976 ; Walrath 1997). Contrairement à ce qui est préconisé chez les populations modernes, il est donc impossible ici d'utiliser l'indice ischio-pubien pour sexer les individus néandertaliens (Heim 1983) ; c'est la raison pour laquelle, la grande incisure ischiatique est privilégiée (Heim 1983 ; Tague 1992 ; Walrath 1997). Pourtant cette utilisation est sujette à caution. D'abord, si ce caractère est très dimorphique chez l'Homme anatomique moderne (Singh et Potturi 1978 ; Hager 1996), nous ne savons pas ce qu'il en est chez les Néandertaliens. La relation d'interdépendance entre les différentes régions anatomiques du bassin est complexe, et il est délicat de considérer que la différence de morphologie au niveau du pubis n'a aucun impact sur la morphologie du bassin en général (Walrath 1997), d'autant que certains auteurs ont montré que cet allongement du pubis était « compensé » en matière d'ouverture du canal pelvien, par une morphologie différente du sacrum (Rak et Arensburg 1987). Ensuite, il faut prendre en compte l'importante influence qu'a le climat sur le bassin et le dimorphisme sexuel, notamment sur la morphologie de la grande incisure ischiatique (Davivongs 1963 ; Nuger 2008 ; Waxenbaum et Siddall 2011 ; Kurki 2013). Une nette différence entre la morphologie de l'incisure ischiatique a par exemple été mise en évidence entre des populations tempérées et subarctiques, avec une incisure plus large et asymétrique chez ces dernières (Waxenbaum et Siddall 2011). Enfin, la morphologie de cette incisure chez l'Homme anatomiquement moderne présente un chevauchement très important entre les deux sexes (Holcomb et Konigsberg 1995). Même en admettant qu'on puisse l'appliquer aux Néandertaliens, ce serait peu informatif. Finalement, pour de nombreux auteurs, la détermination du sexe des Néandertaliens est encore aujourd'hui problématique (Genoves 1954 ; Walrath 1997 ; Marchal 2003 ; Correia *et al.* 2005).

L'hypothèse d'un dimorphisme sexuel néandertalien équivalent au dimorphisme sexuel moderne a été défendue par plusieurs auteurs (Tague 1992 ; Lorenzo *et al.* 1998 ; Ponce de

León *et al.* 2008). Ceux-ci se basent notamment sur le fait que le mode de locomotion et le degré d'encéphalisation de cette population est comparable à celle de l'Homme anatomiquement moderne (Tague et Lovejoy 1986 ; Ruff 1995). Toutefois, les caractéristiques de la région ischio-pubienne (voir ci-dessus) mettent en avant la possibilité d'un dimorphisme sexuel différent, non pas dans son degré mais dans son expression morphologique (Rosenberg 1986). La branche supérieure du pubis serait relativement plus longue chez les individus néandertaliens masculins (Rosenberg 1988), soit un schéma inverse de celui des Hommes anatomiquement modernes. Cela pourrait être le résultat d'un dimorphisme sexuel de taille générale plus important chez cette population (Rosenberg 1988). Cette hypothèse est principalement basée sur l'observation d'individus dont le sexe est déterminé *a priori*, ce qui peut conduire à un raisonnement tautologique. Dans cette étude, nous avons préféré prendre en compte l'hypothèse d'un dimorphisme sexuel de même degré que le dimorphisme sexuel moderne, basée sur une relation locomotion-encéphalisation comparable à celle de l'Homme anatomiquement moderne.

Face à la difficulté de déterminer le sexe d'individus fossiles, il faut discuter la possibilité d'étudier l'obstétrique à partir d'un individu dont le sexe est inconnu, et donc possiblement masculin. En paléo-obstétrique, la clé est de considérer que la variabilité intra-spécifique que représente le dimorphisme sexuel est plus faible que la variabilité interspécifique : des conclusions obstétricales peuvent donc être faites à partir de l'observation d'un seul individu (Tague 1991), et a fortiori, de quelques représentants, comme c'est le cas dans ce travail. Partant de ce postulat, de nombreux auteurs ont discuté des mécaniques obstétricales fossiles, à partir de Kebara 2 ou WT 15000[11] par exemple (Abitbol 1996a) mais aussi à partir d'individus dont la détermination sexuelle est encore plus discutable, comme Al-288-1[12] (Lovejoy 1979 ; Tague et Lovejoy 1986 ; Berge 1991b, 1991a) ou Sts 14 (Abitbol 1995b).

Dans le cas de Regourdou 1, nous pouvons de plus supposer que la locomotion et l'encéphalisation des Néandertaliens étaient comparables aux nôtres (Lorenzo *et al.* 1998 ;

---

[11] Nariokotome boy, *Homo erectus*.
[12] Lucy, *Australopithecus afarensis*

Bruner *et al.* 2003 ; Bruner 2007 ; Trinkaus 2007 ; Franciscus 2009) et qu'ainsi les contraintes obstétricales devaient être sensiblement les mêmes. La connaissance des mécanismes de l'accouchement néandertalien dépendrait donc plus particulièrement de la morphologie pelvienne de ceux-ci. Quelque soit son sexe, Regourdou 1 nous apportera des données importantes sur cette morphologie et donc sur les mécanismes d'accouchement.

La question du dimorphisme sexuel est donc essentielle lors de l'étude du bassin et des variations entre les individus et les populations. Par ailleurs, d'autres facteurs, individuels ou environnementaux, peuvent expliquer la variabilité morphologique du bassin.

I.2.2.2. Variabilité de la morphologie pelvienne

Plusieurs facteurs peuvent exercer une influence sur la morphologie pelvienne. Ces facteurs sont d'origine individuelle, comme la stature (Abitbol 1987c ; Tague 2000), l'appartenance populationnelle (Driscoll 2010) ou la génétique (Abitbol 1996b ; Cameron 2002) et d'origine environnementale comme la nutrition (Nicholson 1945 ; Angel 1976 ; Weyl 1977 ; Roche 1979 ; Abitbol 1987c) ou le climat (Allen 1877 ; Katzmarzyk et Leonard 1998 ; Ruff 2002). Certains facteurs culturels, comme l'activité ou la division du travail (Ruff 1987 ; Abitbol 1996b ; Steckel *et al.* 2002) peuvent aussi avoir leur importance.

Ces différentes influences expliquent la variabilité géographique et temporelle observée dans le cas de la ceinture pelvienne. Celle-ci est peu répercutée dans les données fournies par les manuels d'obstétrique, qui proposent une vision très synthétique du bassin féminin. Cette dernière observation est essentielle : elle implique pour nous de prendre en compte la variabilité moderne, au-delà des données « officielles » de l'obstétrique (Tableau 1).

Tableau 1. Variabilité des dimensions obstétricales modernes.

	Population	Sexe	N	Détroit supérieur		Détroit moyen		Détroit inférieur	
				TR	AP	TR	AP	TR	AP
Martin 1914	Européens	F	--	135	106	99	137	136	116
	Européens	H	--	130	104	81	139	115	95
	Japonais	F	--	121	107	100	131	116	111
	Japonais	H	--	120	103	84	126	101	103
	Senoi (Malaisie)	F	--	128	95	104	109	97	95
	Senoi (Malaisie)	H	--	101	94	78	104	88	95
Rosenberg 1986	Bantu (Ouganda)	F	90	112.0	99.7				
	Ganda	F	31	118	103				
	Angleterre rurale 1940	F	350	132,3	116,4				
	Scandinavie	F	38700	120	110				
	Chine-Taïwan	F	300	126	117				
	Inde	F	64	119	101				
Tague 1989	Hamann-Todd (blancs)	F	47-50	134 ±8	111 ±11	102 ±4	127 ±8	120 ±0,9	119 ±9
	Hamann-Todd (blancs)	H	46-50	130 ±8	102 ±9	86 ±6	119 ±7	120 ±9	111 ±8
	Hamann-Todd (noirs)	F	46-50	123 ±8	110 ±12	97 ±8	128 ±10	113 ±11	123 ±10
	Hamann-Todd (noirs)	H	47-50	118 ±8	96 ±8	83 ±7	119 ±7	95 ±10	113 ±7
	Knoll	F	28-33	134 ±7	108 ±7	112 ±11	120 ±10	127 ±9	114 ±9
	Knoll	H	32-46	125 ±6	103 ±8	93 ±9	114 ±8	100 ±8	109 ±7
	Pueblo	F	29-54	134 ±6	91 ±8	99 ±12	118 ±9	116 ±10	114 ±9
	Pueblo	H	33-41	126 ±7	91 ±8	84 ±8	112 ±7	96 ±9	107 ±8
	Libben	F	6-12	134 ±7	98 ±8	--	126 ±7	127 ±13	121 ±6
	Libben	H	18-27	132 ±8	102 ±11	95 ±9	122 ±05	103 ±8	116 ±05
	Haida	F	14-23	135 ±8	112 ±11	110 ±5	138 ±10	124 ±9	135 ±10
	Haida	H	8-19	132 ±7	103 ±6	85 ±7	121 ±5	102 ±8	117 ±6
Greene 1986	Kulubnarti	F	36	116,2 ±7	103,3 ±7	91,3 ±7	115,1 ±7	97,2 ±8	110,5 ±7
	Kulubnarti	H	31	113,7 ±7	99,9 ±9	77,5 ±9	108,0 ±9	82,4 ±9	100,6 ±9
Driscoll 2010	Noirs 1842 - 1869	F	39	123.63	104.74	102.95	124.63	105.74	119.37
	Noirs 1842 - 1869	H	39	113.84	99.89	79.42	118.16	82.84	113.53
	Blancs1842 - 1869	F	40	136.2	114.8	105	126.25	111.1	119.2
	Blancs1842 - 1869	H	40	126.2	99.85	86.15	115.45	93.5	107.85
CT scans	Marseille 2000-2010	F	78	131,9 ±7	119,4 ±9	107,9 ±7	128,2 ±8	118,5 ±10	118,7 ±8
	Marseille 2000-2010	H	73	124,1 ±8	112,5 ±9	91,7 ±6	120,9 ±9	101,5 ±9	112,6 ±8

F : femmes ; H : hommes ; TR : diamètre transverse ; AP : diamètre antéropostérieur. CT scans ; échantillon de comparaison de cette étude (voir matériel, p. 92).

Ces données (Tableau 1), issues de plusieurs populations mettent en exergue que la variabilité de la morphologie pelvienne est surtout due à l'appartenance populationnelle plutôt qu'à l'appartenance sexuelle (Figure 9). Par exemple, en ce qui concerne les dimensions du détroit supérieur, on voit bien que globalement les femmes présentent des valeurs supérieures à celles des hommes ; malgré cela, certains individus masculins ont un diamètre transverse plus grand que certaines populations féminines. Dans le cas d'une analyse obstétricale inter-populationnelle, la connaissance de la morphologie d'un individu apporte ainsi des informations sur la population dans son ensemble, quel que soit le sexe de celui-ci (Tague 1991). Nous utiliserons cette propriété dans le cadre de notre analyse de Regourdou 1, considérant qu'à partir de lui (ainsi que de Tabun C1 et Kebara 2), il nous est possible de discuter de la morphologie pelvienne néandertalienne et de ses implications obstétricales, nonobstant la méconnaissance du sexe de ce spécimen.

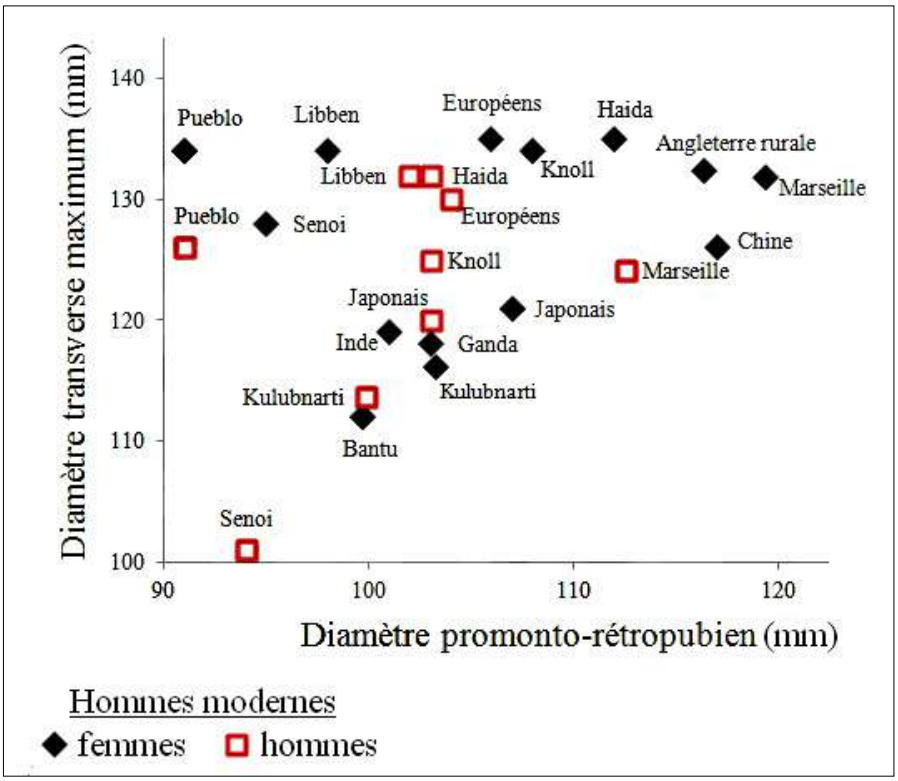


Figure 9. Dimensions du détroit supérieur chez l'Homme anatomiquement moderne.

Comparaison de 14 populations asiatiques (Inde, Chine, Japonais, Senoi), américaines (Haidas, Libben, Knoll, Pueblo), africaines (Ganda, Bantu, Kulubnarti) et européennes (Angleterre rurale, Européens, Marseille). Pour les références bibliographiques, voir Tableau 1.

Ainsi, la locomotion a une forte influence sur la morphologie pelvienne, adaptée à la bipédie chez l'Homme anatomiquement moderne. Nous avons mis en évidence la variabilité de cette morphologie, notamment selon le sexe et l'appartenance populationnelle. Cet état de l'art permet de mettre en évidence certaines caractéristiques du bassin moderne dont la connaissance est essentielle dès qu'on envisage une étude de l'obstétrique moderne d'un point de vue évolutif. Mais la parturition met en scène un autre acteur : le fœtus à terme.

I.2.3. Morphologie du fœtus moderne à terme

Chez un fœtus à terme, les dimensions crâniennes sont de première importance. Elles apportent des informations sur la croissance fœtale, sur le déroulement de la grossesse et de l'accouchement (Chitty *et al.* 1994). En effet, la tête est un des éléments dont le passage à travers le bassin maternel est le plus délicat, de par sa taille et sa fragilité (Cunningham *et al.* 2010).

I.2.3.1. Conséquences de l'encéphalisation sur le cerveau fœtal ; notion d'altricialité secondaire

a. Encéphalisation

Au sein des Primates, l'Homme est caractérisé par un cerveau très développé relativement à sa taille (Lieberman 1998). Cette caractéristique s'est mise en place par un processus dit d'« encéphalisation » (Holloway 1966), dont les caractéristiques sont l'objet de nombreuses controverses. Deux écoles s'opposent : la première considère que cette croissance du cerveau s'est fait de manière continue au cours de l'évolution (Henneberg 1998 ; Conroy *et al.* 2000) ; la deuxième, majoritaire, définit plutôt un pic de croissance avec l'apparition du genre *Homo* (Blumenberg 1983 ; Aiello et Wheeler 1995 ; McHenry et Coffing 2000 ; Wittman et Wall 2007) et particulièrement de l'espèce *Homo erectus* (Martin 1983 ; Ruff *et al.* 1997 ; Rightmire 2004).

Différentes hypothèses ont été proposées pour expliquer cette croissance encéphalique. Elles touchent à l'alimentation (Harvey *et al.* 1980 ; Aiello et Wheeler 1995 ; Henneberg

1998), avec notamment le développement d'un régime carné (Blumenberg 1983), au changement d'environnement (Vrba 1996), à l'apparition de la bipédie (Aiello et Wells 2002) mais aussi à la culture (Blumenberg 1983 ; Henneberg 1998) et au comportement (Krantz 1968 ; Blumenberg 1983 ; Reader et Laland 2002). Aujourd'hui, de nombreux auteurs s'accordent à penser que les mécanismes qui régissent ce bouleversement anatomique sont des hétérochronies du développement (Ponce de León et Zollikofer 2001 ; Vinicius 2005 ; Zollikofer et Ponce de León 2010), et particulièrement une néotonie[13] associée à une hypermorphose[14] (Tardieu 1998 ; Zollikofer et Ponce de León 2010 ; Somel *et al.* 2012). Ce dernier point fait toutefois débat (Shea 1989 ; Godfrey et Sutherland 1996 ; Vinicius et Lahr 2003 ; Vinicius 2005).

Cette augmentation de la taille du cerveau humain a des répercussions sur les dimensions de la tête fœtale (DeSilva et Lesnik 2008), qui est donc de taille importante ce qui pose problème lors de son passage via un bassin déjà resserré par la bipédie. La solution « encéphalique » à ce problème a résidé dans un changement dans le rythme de développement, afin que la tête de l'enfant ne soit pas trop large à la naissance (Martin 1983 ; Coqueugniot et Hublin 2007).

b. Altricialité secondaire

Une des caractéristiques de l'Homme par rapport aux autres primates, est la naissance d'un nouveau-né peu développé et peu autonome (DeSilva 2011). Chez les mammifères, le développement du nouveau-né a permis la catégorisation de deux grands groupes : les précociels et les altriciels (Martin et MacLarnon 1985). Comme les autres Primates, l'Homme est précociel (Rosenberg et Trevathan 2002 ; Martin 2007), avec une gestation longue, un nouveau-né généralement unique et un fort développement sensoriel. Pourtant, sa dépendance totale à la mère font du nouveau-né humain un cas particulier (Rosenberg et Trevathan 2001, 2002 ; Martin 2007). Par rapport à ses parents, celui-ci est effectivement faiblement

[13] Le développement de l'espèce fille est ralenti par rapport à l'individu ancestral, ce qui a pour conséquence une phénotypie adulte proche de la phénotypie immature ancestrale (Klingenberg 1998).
[14] La croissance est allongée, avec notamment un retard de la maturité sexuelle. Les spécimens adulte de l'espèce fille sont plus grand que les spécimens ancestraux (Klingenberg 1998).

développé, à l'encontre de tout ce qui est observé chez les autres Primates (Leigh 1996 ; Leigh 2004 ; Robson et Wood 2008 ; Zollikofer et Ponce de León 2010). Ainsi, le petit chimpanzé à un cerveau dont le poids représente 40 % du cerveau maternel contre 20 à 25 % chez *Homo sapiens* (Coqueugniot *et al.* 2004 ; Coqueugniot et Hublin 2012). Ce faible développement se rapproche de ce qu'on observe chez les altriciels, c'est pourquoi cette caractéristique a été désignée par le terme d'altricialité secondaire (Leutenegger 1982 ; Dunsworth *et al.* 2011 ; Dunsworth *et al.* 2012). Dans les premiers mois de vie aérienne, le nourrisson est si démuni et si dépendant de la mère que certains auteurs les mettent en relation avec les derniers mois *in utero* et ont désigné cette période par le terme d'extero-gestation (Montagu 1989).

L'altricialité secondaire permettrait ainsi la naissance d'un fœtus à terme dont les dimensions encéphaliques n'entrent pas (trop) en compétition avec les dimensions pelviennes maternelles (Hublin et Coqueugniot 2006). Elle serait donc un corollaire au paradoxe obstétrical (Washburn 1960). Nous revenons sur ce paradigme p. 68.

S'appuyant sur les caractéristiques d'*Homo erectus* (à la fois en matière d'encéphalisation et de locomotion), de nombreux auteurs considèrent que l'altricialité secondaire peut être mise en rapport avec l'émergence de cette espèce (Stanley 1992 ; Walker et Ruff 1993 ; Ruff 1995 ; Smith et Tompkins 1995 ; DeSilva 2011). Toutefois, l'étude récente des restes de l'enfant *Homo erectus* de Modjokerto a amené des conclusions différentes (Coqueugniot *et al.* 2004 ; Hublin et Coqueugniot 2006 ; Coqueugniot et Hublin 2007). Pour ces auteurs, cet enfant aurait un crâne dont les dimensions correspondent plus à celles d'un petit chimpanzé qu'à celles d'un enfant moderne du même âge. Ces résultats dépendent grandement de l'estimation de l'âge au décès de l'individu concerné. Dans le cas des individus immatures fossiles, cette estimation pose parfois problème (Tillier *et al.* 1995 ; Tillier 1998, 2000a, 2000b). Même s'il n'y a pas de consensus sur l'impossibilité d'utiliser les standards modernes (comme le développement dentaire) pour estimer l'âge des enfants fossiles (Coqueugniot 1998), l'application de ces méthodes à d'autres espèces que la nôtre reste un biais important.

De nombreux facteurs peuvent influencer la morphologie du nouveau-né. Ces facteurs sont le plus souvent d'origine maternelle.

I.2.3.2. Variabilité de la morphologie fœtale moderne

Les données anthropométriques sur le fœtus sont des repères de sa santé et de son état de développement (Kramer 1987 ; McIntire *et al.* 1999 ; Bucher 2011). Ces données varient dans l'espace et dans le temps (Wells 2003b ; Bucher 2011). On observe par exemple une augmentation du poids depuis le milieu du XIXe siècle, due à l'amélioration des conditions de vie et du suivi médical des femmes enceintes (Vercauteren 1991).

La taille et le poids du fœtus à terme sont soumis à de très nombreux facteurs. Le facteur le plus déterminant est un facteur maternel : le poids de la mère est en effet fortement corrélé au poids fœtal et à nombre de ses dimensions (Milner et Richards 1974 ; Fedrick et Adelstein 1978 ; Garn et Pesick 1982 ; Lindburg 1982 ; Rosenberg 1986 ; Lawoyin et Oyediran 1992 ; Lawoyin 1993 ; Borkowski et Mielniczuk 2008 ; Ay *et al.* 2009 ; Rice et Thapar 2010) et différentes études ont montré que cette influence se fait par le biais de l'environnement utérin (Brooks *et al.* 1995). Notons qu'au vu de l'importante corrélation entre le poids de l'enfant et ses dimensions crâniennes (Cooke *et al.* 1977 ; Hadlock *et al.* 1984 ; Kramer *et al.* 1990), tous ces facteurs ont donc des conséquences sur les diamètres céphaliques du fœtus à terme.

D'autres facteurs maternels peuvent entrer en compte, comme la santé ou la parité (Baker *et al.* 1977 ; Chumnijarakij *et al.* 1992 ; Vega *et al.* 1993 ; Hirve et Ganatra 1994 ; Diarra 1997 ; Borkowski et Mielniczuk 2008 ; Barkat *et al.* 2011)(Milner et Richards 1974 ; Fedrick et Adelstein 1978 ; Alberman *et al.* 1980).

I.2.3.3. Données sur les dimensions fœtales et néonatales modernes

Aujourd'hui, le poids moyen d'un nouveau-né humain moderne est de 3,5 kg (Gajdos *et al.* 2010 ; Bourrillon et Benoist 2011 ; Bucher 2011). Néanmoins, c'est une donnée très variable (Mikolajczyk *et al.* 2011) et on considère comme étant dans la normalité des

nouveau-nés dont le poids est compris entre 2,6 et 4,0 kg (Gajdos *et al.* 2010) voire entre 2,5 et 4,5 kg (Bourrillon et Benoist 2011). La taille de l'enfant est environ de 500 mm (Vercauteren 1991), comprise entre 460 et 520 mm (Gajdos *et al.* 2010 ; Bourrillon et Benoist 2011).

On considère que les dimensions les plus importantes d'un fœtus à terme sont les diamètres crâniens : le diamètre bipariétal est d'environ 90 [89-96] mm (Chitty *et al.* 1994 ; Abitbol 1996a ; Lapeer et Prager 2001 ; Figueras *et al.* 2002) ; le diamètre suboccipito-bregmatique varie entre 88 mm (Lapeer et Prager 2001) et 95 mm (Abitbol 1996b) ; le diamètre occipito-frontal est d'environ 119 [118-120] mm (MacDonald 1953 ; Chitty *et al.* 1994 ; Lapeer et Prager 2001). Enfin, le périmètre crânien varie entre 330 et 360 mm (Chitty *et al.* 1994 ; Figueras *et al.* 2002 ; Joffe *et al.* 2005).

Dans certains cas, les obstétriciens prennent aussi en compte les dimensions sternales de l'enfant, et particulièrement le diamètre bi-acromial qui peut varier entre 120 et 130 mm (MacDonald 1953).

Les différentes données concernant à la fois la morphologie pelvienne et la morphologie fœtale montrent une importante variabilité, qui n'est pas, ou peu, traduite par les manuels d'obstétrique. Dans ce travail, nous cherchons à aborder l'obstétrique d'un point de vue évolutif, en nous appuyant particulièrement sur les données concernant une population fossile. Il est donc important de prendre en compte cette variabilité moderne.

L'opposition flagrante, d'un point de vue biomécanique, entre la fonction reproductrice et la fonction locomotrice du bassin est actuellement au centre de nombreuses recherches en paléoanthropologie. Aujourd'hui, la majorité des chercheurs travaillant sur l'aspect évolutif de la naissance moderne s'appuie sur un paradigme développé dans les années 1960 : le paradoxe obstétrical [*obstetrical dilemna* (Washburn 1960)].

I.3. Approche évolutive de l'accouchement moderne, notion de paléo-obstétrique

I.3.1. Le paradoxe obstétrical - influence de la bipédie et de l'encéphalisation sur l'accouchement moderne

Chez l'Homme, les contraintes biomécaniques liées à la locomotion entrent en conflit avec la fonction de parturition (Damany 1898 ; Abitbol 1996b ; Berge 2003 ; Lovejoy 2005b ; Wittman et Wall 2007 ; Walsh 2008). Une bipédie efficace entraîne des modifications du bassin (dont un raccourcissement antéropostérieur) qui sont peu compatibles avec l'obligation de faire naître un fœtus à terme dont la tête est de taille importante, à cause de l'encéphalisation de l'espèce humaine au cours de son évolution (Trevathan 1987 ; Rosenberg 1992 ; Rosenberg et Trevathan 1995 ; Wittman et Wall 2007). C'est ce que Washburn (1960) a appelé le paradoxe obstétrical. Ce concept a été largement discuté et remanié. Aujourd'hui, une des principales questions réside dans le coût énergétique d'un bassin féminin élargi car adapté à la parturition (Wittman et Wall 2007).

Les différentes caractéristiques de la naissance humaine (modelage du crâne fœtal, altricialité secondaire, mécaniques obstétricales complexes, importante durée du travail, accompagnement de la parturiente) sont considérées comme des adaptations à ce paradoxe (Schultz 1949 ; Leutenegger 1974 ; Trevathan 1987 ; Berge 1991b ; Rosenberg et Trevathan 2002 ; Bouhallier et Berge 2006 ; Wittman et Wall 2007 ; Driscoll 2010 ; Buck 2011 ; Parente *et al.* 2011). Cet ensemble d'adaptations, et notamment l'adaptation culturelle, a été désigné par Krogman (1951) comme « une cicatrice de l'évolution ». L'Homme ne sortirait pas indemne des différents processus évolutifs qui l'ont modelé.

Les interactions entre la bipédie, l'encéphalisation et la parturition sont complexes (Joulin 1864 ; Leutenegger 1974 ; Bouhallier 2006) et aujourd'hui certains auteurs rediscutent cette notion de paradoxe obstétrical. Celui-ci part en effet du principe que la naissance humaine est exceptionnelle chez les Primates. Or, l'existence aujourd'hui bien documentée d'une mécanique obstétricale non humaine chez les singes de l'ancien monde (Bouhallier 2006 ; Bouhallier et Berge 2006), tout comme les récents travaux sur la parturition de certaines espèces de grands singes, avec la description d'une naissance rotationnelle chez les

chimpanzés (Hirata *et al.* 2011) montrent qu'il n'en est rien et invitent à reconsidérer ce paradigme. De la même façon, les nouvelles données sur l'obstétrique australopithèque (voir ci-dessous) laissent penser que l'apparition des mécaniques obstétricales humaines modernes précède le processus d'encéphalisation intense des premiers *Homo* (Berge et Goularas 2010).

Enfin, pour certains auteurs, la notion d'altricialité secondaire ne trouve pas son explication dans la nécessité de faire naître un fœtus à terme dont le cerveau est de taille importante, mais serait plutôt due à des contraintes énergétiques, et à la nécessité de limiter la durée de gestation pour la mère (Dunsworth *et al.* 2011 ; Dunsworth *et al.* 2012 ; Isler et Van Schaik 2012). De la même manière, Wells (2012) considère que le paradoxe obstétrical actuel est récent et résulterait de la néolithisation et du changement de régime alimentaire qui en a découlé. Si on ne peut nier l'importante révolution alimentaire (Richards 2002 ; Richards *et al.* 2003) et morphologique (Larsen 1995) de la transition mésolithique-néolithique, il semble peu probable que cela ait eu de telles répercussions obstétricales. Peu de données existent sur les mécaniques obstétricales des Hommes anatomiquement modernes du Paléolithique supérieur, mais cette étude, en proposant de nouvelles hypothèses sur l'accouchement d'un groupe de chasseurs-cueilleurs (les Néandertaliens) permettra de rediscuter de cette théorie.

Enfin, il faut rappeler que la mort néonatale ou maternelle est rarement due à un problème osseux, mais plus souvent aux infections, aux hémorragies ou aux suffocations ombilicales (Bouhallier 2006) notamment dans les sociétés traditionnelles, où l'hémorragie est responsable de près de 45% des morts maternelles (Jusot 1996). Il faudrait alors considérer le paradoxe obstétrical non pas d'un point de vue uniquement ostéologique mais étendu à l'ensemble de la physiologie maternelle, ce qui est confirmé par l''influence de la bipédie sur l'implantation placentaire (Rockwell *et al.* 2003 ; Wells *et al.* 2012).

La discussion sur le paradoxe obstétrical et sur l'influence conjointe de la locomotion et de l'encéphalisation sur l'obstétrique moderne ne peut se faire uniquement sur la base d'observations actuelles. Afin de mieux comprendre l'influence de la bipédie sur la morphologie du bassin, l'observation de bassins ou de crânes d'individus, dont la bipédie et la

capacité crânienne ne présentent pas les mêmes caractéristiques que les nôtres, est essentielle. Ainsi, l'étude des spécimens fossiles de la lignée humaine permet d'observer la mise en place de ces deux caractéristiques et de les relier à l'évolution des mécaniques obstétricales. C'est dans ce but que s'est développé une nouvelle discipline : la paléo-obstétrique.

De la même façon, la connaissance des caractéristiques de la parturition chez les autres espèces de Primates apporte des données sur l'évolution et la réalité du particularisme humain en matière d'accouchement.

I.3.2. L'accouchement chez les Primates non-humains

En matière d'obstétrique, le comportement des Primates est très variable. Ceci est principalement imputable à la variabilité de la morphologie pelvienne (Berge 1991c), due entre autres à la variété de modes de locomotion chez les Primates (Napier 1967 ; Lessertisseur et Petit-Maire 1972 ; Wrangham 1980 ; Berge et Ponge 1983 ; Jouffroy *et al.* 1983 ; Berge 1991c ; Youlatos 1999).

Le bassin des Primates non-humains est généralement « en tension », morphologie associée à l'arboricolisme ou à la brachiation (Berge 1993). Chez les grands singes (Figure 10), les pelvis sont longs, en deux dimensions, avec une aile iliaque projetée latéralement, dont la crête est longue et adaptée à l'arboricolisme (Aiello et Dean 1994). Le sacrum et les surfaces auriculaires sont plus étroits, indiquant que le poids du corps n'est pas entièrement supporté par cette articulation. L'ischium est long (Robinson 1972 ; Lovejoy *et al.* 1973), ce qu'on associe à une puissance musculaire dans l'extension et la flexion de la cuisse (Sigmon 1974 ; McHenry 1975a).

La parturition des Primates non-humains peut être aujourd'hui classée en deux catégories : les grands singes, dont la mise-bas est rapide et très rarement dystocique et les autres Primates qui présentent une disproportion céphalo-pelvienne à l'origine d'une dystocie plus ou moins importante selon les espèces (Figure 11).

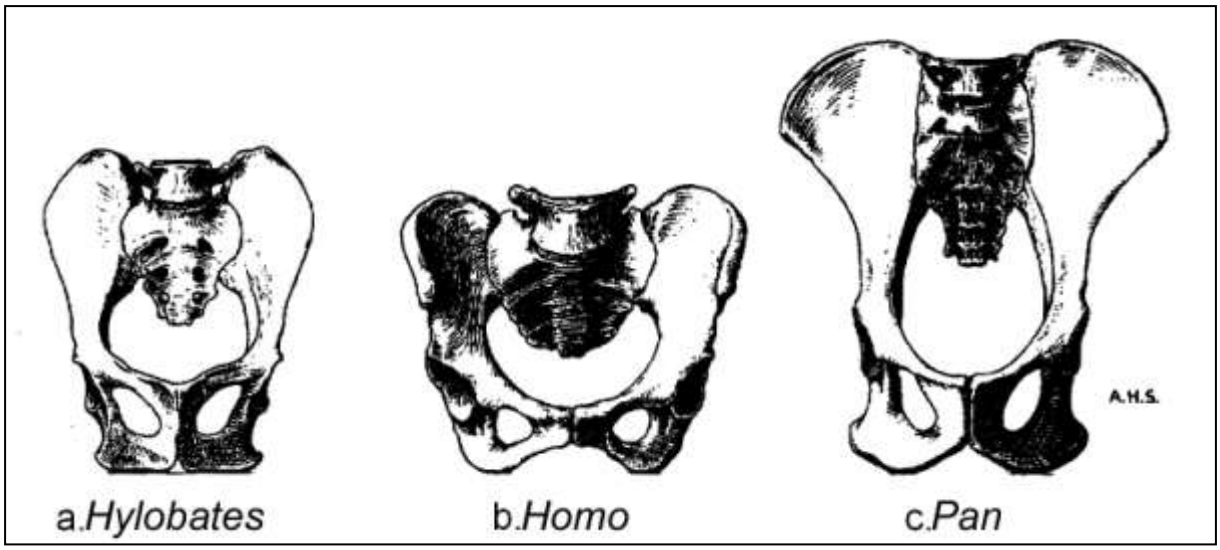


Figure 10. Comparaison entre le bassin de trois genres d'Hominoïdés.
a. Gibbon, b. Homme moderne, c. Chimpanzé. D'après Schultz, 1930.

On peut comparer le canal pelvien des Primates non-humains à un tube plus ou moins rectiligne : les trois détroits pelviens sont parallèles, leur diamètres sont quasiment identiques, respectant à chaque fois un rapport antéropostérieur/transverse supérieur à 1 (Abitbol 1987c ; Bouhallier 2006 ; Schultz 1949, 1969 ; Tague 1991, 1992). La présentation est le plus fréquemment céphalique (Bowden, et al. 1967 ; Trevathan 1987) et, la tête fœtale est plus longue antéropostérieurement que transversalement (Abitbol 1991 ; Leutenegger 1982 ; Schultz 1949), l'axe antéropostérieur de celle-ci se place donc dans l'axe antéropostérieur de la cavité pelvienne (Abitbol 1996).

Chez les Grands Singes, sauf chez l'Homme (Figure 11), la cavité pelvienne est de dimensions largement supérieures à toutes celles du fœtus à terme (Schultz 1969). Cet espace important, surement dû à la taille générale des individus (Leutenegger 1973a, 1974), favorise l'expulsion du fœtus et permet une mise-bas rapide et eutocique (Leutenegger 1982). En conséquence, on a souvent considéré l'accouchement des grands singes comme peu complexe (Brandt, et al. 1971 ; Lynch, et al. 1983). Pourtant de récentes études rapportent l'observation de naissances rotationnelles chez les chimpanzés (Hirata *et al.* 2011) : chez les grands singes, la naissance serait donc beaucoup plus variable que ce qu'on admet communément (Elder et Yerkes 1936 ; Wagner et Ross 2008).

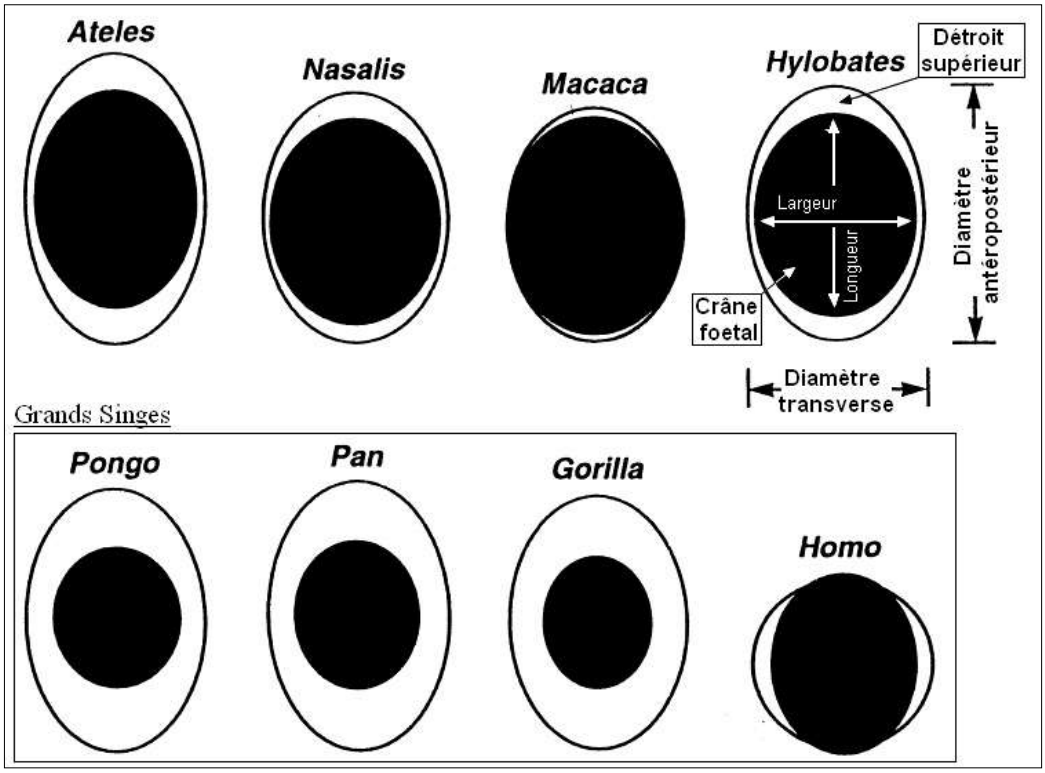


Figure 11. Relation fœto-pelvienne chez les Primates.

Ce schéma permet de comparer la tête fœtale (en noir) avec le détroit supérieur du bassin maternel (en blanc). D'après Schultz 1949 et Rosenberg 1992.

Chez les singes catarhiniens, la principale difficulté de la parturition réside dans la première étape. La tête fœtale est de dimensions très proches de celles du pelvis maternel (Schultz 1949 ; Abitbol 1987c(Bouhallier et Berge 2006) ; (Figure 11), ce qui nécessite une présentation particulière avec notamment une extension de la tête au moment de l'entrée dans la cavité, pour favoriser une présentation de la face (Bowden, et al. 1967 ; Leutenegger 1982 ; Trevathan, et al. 2000). Il en résulte une naissance difficile (Cho *et al.* 1985 ; Bouhallier et Berge 2006) qui est à l'origine d'une mortalité néonatale et maternelle importante (Abitbol 1996 ; Ridley 1995).

Une des principales différences entre l'accouchement moderne et la parturition primate non-humain est l'orientation de la tête fœtale lors de l'expulsion (Figure 12). Le diamètre antéropostérieur de la cavité étant supérieur au transverse dans les trois détroits, il n'y a pas de rotation (Trevathan 1987), et l'expulsion se fait en en rétro-ischiatique, l'occipital en position postérieure (Bouhallier, et al. 2004 ; Joulin 1864 ; Malinas, et al. 1979).

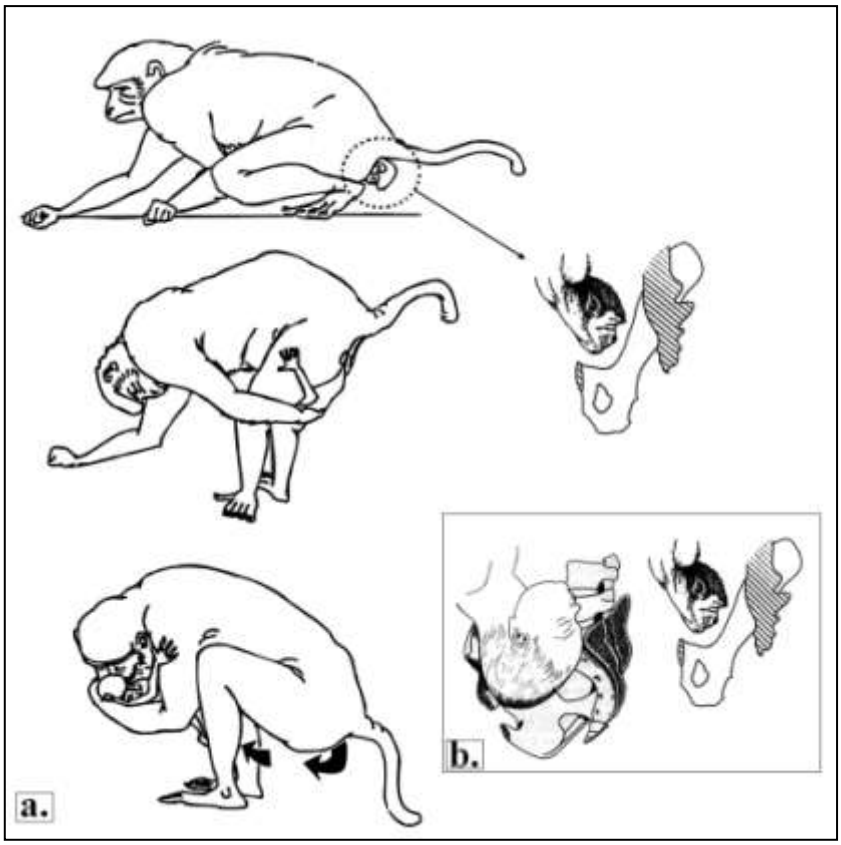


Figure 12. Expulsion du fœtus chez les Primates non-humains.

(a.) Chez les Primates non-humains, le fœtus est expulsé l'occipital situé postérieurement à la mère, ce qui permet à celle-ci de le récupérer sans danger. Au contraire, chez l'Homme moderne (b.), l'enfant sort antérieurement à la mère. D'après Trevathan 1987 et Rosenberg et Trevathan 2002.

Dans cette position, la mère peut attraper elle-même son enfant et faciliter son expulsion, ce qui n'est pas le cas, on l'a vu chez l'Homme anatomiquement moderne. Cette différence d'orientation justifierait l'importance d'une assistance lors de la naissance moderne, la mère risquant de blesser l'enfant (Trevathan 2011).

I.3.3. Données sur l'obstétrique des espèces fossiles de la lignée humaine.

L'application des méthodes modernes d'analyse obstétricale au matériel fossile permet d'aborder la question de l'apparition et de l'évolution des mécaniques obstétricales. La découverte de nombreux restes pelviens au cours du XXe siècle a permis le développement d'une nouvelle thématique : la paléo-obstétrique (Malinas 1970).

La paléo-obstétrique se heurte à plusieurs difficultés : l'état des restes, le manque de données néonatales et l'absence de tissus mous. Peu d'individus fossiles de la lignée humaine se prêtent à l'analyse obstétricale (Bouhallier 2006) et certaines données, comme le diamètre bi-épineux au niveau du détroit moyen, sont presque constamment manquantes (Abitbol 1996a). Par ailleurs, il existe peu d'individus immatures au sein du matériel fossile et parmi eux, très peu de périnatals. L'étude de ces individus est difficile : on ne connait pas leur âge avec certitude et les modalités de leur croissance sont mal connues (Tillier 1995, 1998, 2000a ; Hublin et Coqueugniot 2006). Enfin, de nombreux auteurs travaillent sur les données osseuses fœtale et pelvienne sans prendre en compte l'épaisseur de tissus mous de la tête fœtale et de la filière pelvi-génitale. Comme le souligne Abitbol (1996a p.151) « la relation céphalo-pelvienne n'est pas qu'osseuse ».

Malgré ces réserves, il est possible de proposer des hypothèses paléo-obstétricales et ainsi, de mieux comprendre l'évolution et l'émergence de la naissance moderne.

I.3.3.1. Les Australopithèques

La morphologie pelvienne des Australopithèques est connue grâce à huit individus, qui présentent une grande variabilité interspécifique et inter-individuelle (Berge et Ponge 1983). On note particulièrement des différences marquées entre les représentants du genre *Australopithecus* et ceux du genre *Paranthropus* (McHenry 1975b ; Berge 1994 ; Gommery et Thackeray 2008), ainsi qu'une évolution dans le nombre de caractères partagés avec le genre *Homo* (Kibii *et al.* 2011).

Un des aspects les plus frappants de cette morphologie est la large ouverture du bassin vers l'avant (Figure 13), due à la faible éversion de l'aile iliaque et à sa position très postérieure (Marchal 1997). Les épines iliaques antérieures sont bien observables, contrairement aux grands singes chez qui seule l'épine iliaque antéro-supérieure est marquée (Aiello et Dean 1994). Le développement de l'épine iliaque antéro-supérieure massive vers le haut et l'avant est une caractéristique des Australopithèques (Marchal 1997 ; Häusler et Berger 2001), toutefois absente chez MH1 (Kibii *et al.* 2011). La grande incisure ischiatique est très ouverte (Dart 1949). L'ischium est placé haut, avec une tubérosité ischiatique peu

massive, située en position très postérieure (Broom et Robinson 1950 ; Marchal 1997). La branche supérieure du pubis est longue avec un tubercule pubien placé médialement (Kibii *et al.* 2011).

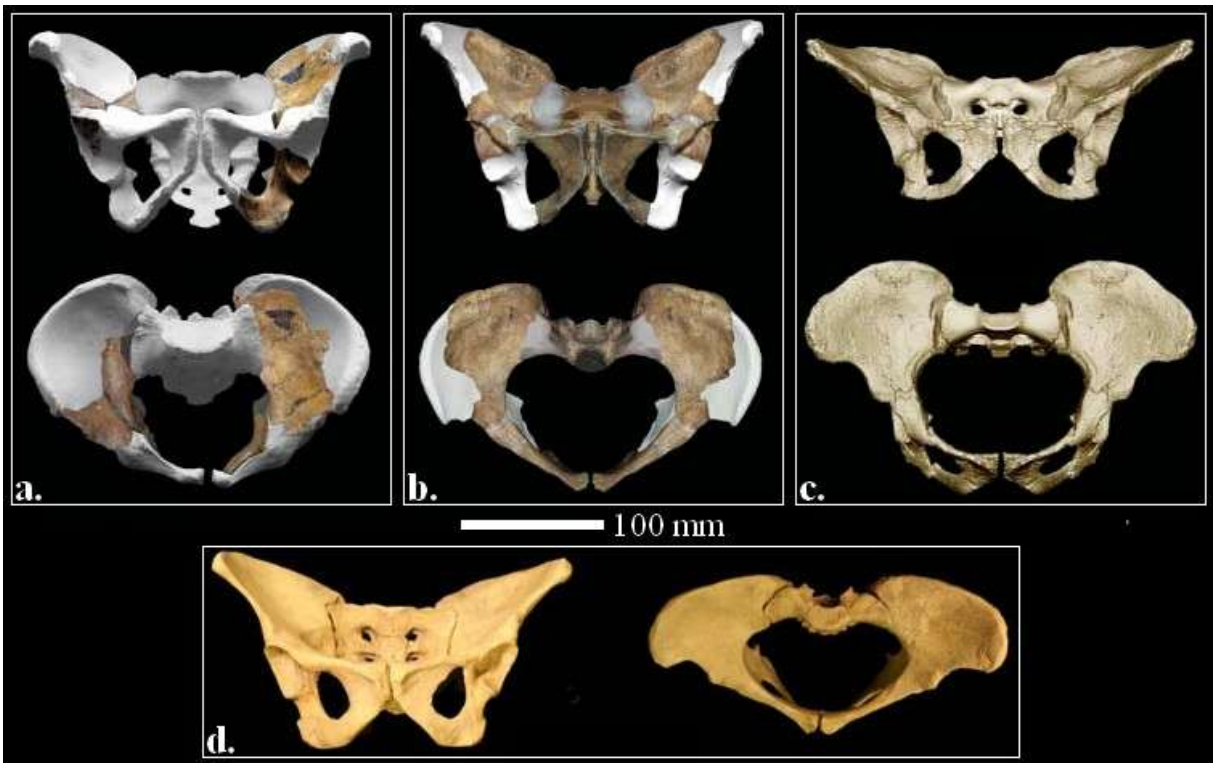


Figure 13. Bassin de quatre individus australopithèques.

a. et b. *Australopithecus sediba* (MH1 et MH2), c. *Australopithecus africanus* (Sts 14) et d. *Australopithecus afarensis* (Al 288-1). MH1 et MH2 : reconstructions proposées par (Kibii *et al.* 2011) ; Sts 14 : reconstruction virtuelle de Berge et Goularas (Berge et Goularas 2010) ; Al 288-1 : reconstruction du musée de Cleveland, photographie de Simpson et collaborateurs (Simpson *et al.* 2008).

Cette morphologie pelvienne est adaptée à la locomotion bipède (Lovejoy *et al.* 1973 ; Lovejoy 1979 ; Wolpoff 1983 ; Lovejoy 2005b). La morphologie des insertions glutéales, de l'aile iliaque ou de l'acétabulum, comme celle du sacrum, des épines sciatiques ou la morphologie générale en « pression » (Dart 1949, 1958 ; Abitbol 1987b, 1988 ; Berge 1993 ; Gommery *et al.* 2002 ; Bouhallier 2006 ; Gommery et Thackeray 2008) mettent en évidence une bipédie australopithèque très ancienne, associée à une station érigée (Dart 1949 ; Gommery et Thackeray 2008). Ces conclusions sont confirmées par l'étude des « Traces de Pas de Laetoli » (Raichlen *et al.* 2010).

Toutefois, cette bipédie présente des caractéristiques différentes de la bipédie moderne (Rak 1991a ; Lovejoy 2005a, 2005b) : des insertions musculaires différentes (Berge et Ponge 1983 ; Berge 1994), l'ouverture plus importante de la grande incisure ischiatique ou la taille et la position de la surface auriculaire traduiraient des contraintes biomécaniques différentes chez les Australopithèques (Gommery *et al.* 2002). Ces différences se manifestent dans une différence de stature, d'équilibre du corps, d'amplitude de mouvements (Dart 1949 ; Abitbol 1987a, 1995a ; Berge et Goularas 2010). Notons que certaines particularités du bassin australopithèque, notamment la large zone d'insertion des muscles de la loge postérieure de la cuisse au niveau de la tubérosité ischiatique, ont aussi été associées à la rétention d'un mode de locomotion arboricole au sein de ce groupe (Stern et Susman 1983 ; Susman *et al.* 1983).

On voit ici que les différences de morphologie entre le bassin moderne et le bassin australopithèque peuvent être associées au mode de locomotion. Pourtant, pour certains auteurs, elles pourraient aussi être dues à des différences obstétricales (Lovejoy *et al.* 1973 ; Lovejoy 2005b). Elles ne se seraient ainsi pas mises en place suite à un changement biomécanique, mais plutôt suite à la nécessité de faire naître un fœtus à terme de capacité crânienne plus importante (Lovejoy *et al.* 1973 ; Lovejoy 2005b ; Kibii *et al.* 2011). Cette hypothèse est contredite par le fait que MH2, appartenant à un groupe dont la capacité crânienne est faible[15], présente déjà certains traits associés au genre *Homo*, comme une aile iliaque verticale, une crête iliaque sinusoïdale, une branche du pubis orientée supérieurement et un ischium court (Kibii *et al.* 2011).

Une des grandes difficultés de l'analyse paléo-obstétrique des Australopithèques réside dans l'absence de nouveau-nés associés à cette population. Certains travaux ayant montré que les dimensions de la tête d'un nouveau-né australopithèque sont comparables à celles d'un nouveau-né chimpanzé (Leutenegger 1972b), l'ensemble des études paléo-obstétricales concernant les Australopithèques utilisent le néonatal chimpanzé comme référence du fœtus australopithèque à terme (Leutenegger 1972b, 1972a ; Berge *et al.* 1984 ; Rosenberg 1992 ; Häusler et Schmid 1995 ; Abitbol 1996a). Pourtant, la relation allométrique entre les dimensions crâniennes adultes et néonatales étant connue (Martin 1983 ; DeSilva 2011), il

[15] Environ 420cm^3 (Berger *et al.* 2010)

est difficile de considérer que les Australopithèques, ayant une capacité crânienne adulte supérieure aux chimpanzés, pourraient avoir une capacité crânienne néonatale équivalente. L'utilisation des données néonatales des chimpanzés implique donc une sous-estimation de la capacité d'un néonatal Australopithèque (DeSilva 2011). À l'inverse, une capacité de 203 cm^3, comme cela a pu être proposé (Häusler et Schmid 1995) est probablement une surestimation (Tague et Lovejoy 1998). L'utilisation de nouvelles régressions permet de proposer une capacité de 180 cm^3, soit légèrement plus importante que les nouveau-nés chimpanzés (DeSilva 2011). Récemment, l'étude de l'enfant de Taung a mis en évidence une fusion tardive (par rapport aux chimpanzés) de la suture métopique chez cet individu (Falk *et al.* 2012), qui pourrait être attribué à un mode de développement semblable à celui de l'Homme moderne ou à une adaptation à un accouchement difficile (Tague 2012). Les récents débats sur cette reconstruction (Holloway 1991 ; Holloway et Broadfield 2011 ; Falk et Clarke 2012 ; Holloway et Broadfield 2012 ; Holloway *et al.* 2013) nous poussent toutefois à pondérer ces conclusions.

Les spécimens Sts 14, découvert à Sterkfontein, en Afrique du Sud et daté d'environ 2,5 millions d'années (Broom et Robinson 1950), A.L. 288-1, découvert dans l'Hadar, en Éthiopie et daté d'environ 3 millions d'années (Johanson *et al.* 1982 ; Ward *et al.* 2012) et les deux individus MH1 et MH2 découverts en 2010 à Malapa, en Afrique du Sud (Berger *et al.* 2010 ; Kibii *et al.* 2011) sont les bassins les plus complets du genre *Australopithecus* (Figure 13). Ils sont les principaux objets des analyses obstétricales.

De très nombreuses reconstructions ont été proposées pour les bassins Sts 14 (Abitbol 1995b ; Häusler et Schmid 1995 ; Berge et Goularas 2010) et A.L. 288-1 (Robinson 1972 ; Lovejoy 1979 ; Schmid 1983 ; Tague et Lovejoy 1986). Les restes d'*Australopithecus sediba* ont été reconstruits par leurs inventeurs (Kibii *et al.* 2011). Chacune de ces reconstructions a été interprétée d'un point de vue fonctionnel, il en résulte une grande variété d'hypothèses obstétricales. En paléo-obstétrique, le groupe des Australopithèques est le plus étudié de la lignée humaine fossile.

Pour certains chercheurs, la platypelloïdie[16] (Tague et Lovejoy 1986 ; Abitbol 1991, 1995b ; Berge et Goularas 2010 ; Kibii *et al.* 2011), l'orientation identique des trois détroits et l'absence de résistance osseuse dans les reconstructions de Tague et Lovejoy (Lovejoy 1979 ; Tague et Lovejoy 1986) suggèrent l'existence d'une naissance non-rotationnelle (Tague et Lovejoy 1986 ; Rosenberg 1992 ; Ruff 1995 ; Abitbol 1996a ; Rosenberg et Trevathan 2002) ; pour d'autres, la descente du fœtus dans la cavité pelvienne serait de type moderne, avec plusieurs mouvements de flexion et de rotation (Malinas et Favier 1979 ; Berge *et al.* 1984 ; Berge 1991b, 1991a, 1994 ; Häusler et Schmid 1995 ; Bouhallier *et al.* 2004 ; Bouhallier 2006 ; Berge et Goularas 2010 ; DeSilva 2011) et une expulsion en position anté-ischiatique (Berge *et al.* 1984 ; Bouhallier *et al.* 2004 ; Bouhallier 2006). Cet accouchement serait eutocique (Frémondière et Marchal 2013).

Cette dichotomie d'hypothèse est en majeure partie due à la reconstruction utilisée pour l'analyse obstétricale. Ainsi, l'hypothèse non-rotationnelle pourrait être due au fait que le diamètre transverse du détroit supérieur d'A.L. 288-1 est surdimensionné dans ces reconstructions (Häusler et Schmid 1995 ; Bouhallier 2006). Les partisans de la naissance rotationnelle s'appuient plutôt sur les reconstructions de Robinson (1972) et Schmid (1983), ainsi que sur des reconstructions plus récentes (Berge et Goularas 2010), qui produisent un bassin moins platypelloïde.

L'exemple des Australopithèques met donc en avant la difficulté de définir « une » mécanique obstétricale dans le domaine fossile. L'influence du matériel lui-même et des techniques employées pour le reconstruire est donc de première importance. Nous verrons que cela est aussi le cas chez les Néandertaliens.

I.3.3.2. Les premiers *Homo*

Les restes pelviens associés aux espèces *Homo erectus* et *Homo heidelbergensis* sont les seuls à être suffisamment complets pour permettre une analyse obstétricale. Cette partie leur est donc consacrée.

[16] Le terme « platypelloïde » désigne un bassin dont le détroit supérieur a des dimensions sagittales très supérieures à ses dimensions antéropostérieures.

Le bassin d'*Homo erectus* présente une mosaïque de caractères anciens (Figure 14) et dérivés. On note par exemple la présence d'une épine iliaque antéro-supérieure projetée vers l'avant, un pilier iliaque antérieur d'une part et d'une crête iliaque sinueuse ou d'une aile iliaque ellipsoïde, d'autre part (Susman *et al.* 1983 ; Rose 1984 ; Marchal 1997 ; L'engle Williams et Orban 2007). Bien que la variabilité individuelle soit forte, il existe une certaine homogénéité morphologique (Rose 1984 ; Simpson *et al.* 2008). Onze spécimens permettent l'étude de la morphologie pelvienne chez *Homo erectus*.

L'aile iliaque est ellipsoïdale et assez éversée. L'épine iliaque antéro-supérieure est légèrement projetée vers l'avant mais en rien comparable à ce que l'on a pu noter chez les Australopithèques (Marchal 1997). Elle est plus ou moins développée selon l'âge de l'individu (Rose 1984). L'épine iliaque antéro-inférieure est bien présente mais peu développée. L'acétabulum est ovale sur l'ensemble des individus et on observe une articulation de taille importante et profonde. La surface auriculaire est grande, de position variable, la tubérosité iliaque est très marquée (Marchal 1997). La tubérosité ischiatique est bien développée (Rose 1984), latéralement dans la majorité des cas. Peu de pubis ont été retrouvés (seul de celui de Gona est bien conservé), néanmoins il semblerait qu'ils présentent un allongement de leur branche supérieure, par rapport à l'Homme anatomiquement moderne (Simpson *et al.* 2008).

Cette morphologie diffère peu de la morphologie moderne, on considère donc souvent que l'émergence d'*Homo erectus* coïncide avec la mise en place de la bipédie moderne (Rose 1984 ; Steudel-Numbers 2006 ; Ruff 2008). KNM ER 3228, par exemple, présente une insertion du muscle *gluteus maximus* semblable à la nôtre (Rose 1984). La robustesse du pilier vertical chez certains individus indique un mécanisme d'abduction comparable à celui de la marche bipède moderne (Day 1971). Néanmoins, la puissance de certaines insertions (la profondeur des gouttières, entre autres) indique une puissance musculaire plus importante que celle qu'on connait actuellement (Day 1971 ; Ruff *et al.* 1993).

L'étude biomécanique de la locomotion d'*Homo erectus* a principalement été réalisée en étudiant le fémur ; la morphologie de celui-ci montre d'ailleurs une continuité morphologique

entre ces différents représentants, à travers le temps et l'espace (Kennedy 1983a, 1983b, 1985). La modernité morphologique de ces fémurs met aussi en évidence la modernité de la bipédie d'*Homo erectus* (Weidenreich 1941 ; Day 1971 ; Day et Molleson 1973 ; Del Prête 2000).

Comme chez les Australopithèques, la faiblesse de l'échantillon périnatal de l'espèce *Homo erectus* pose problème, le plus jeune individu retrouvé étant l'enfant de Modjokerto, âgé d'environ 1 an selon Coqueugniot et collaborateurs (2004). L'application de formules de régression aux adultes permet de calculer la capacité crânienne d'un hypothétique individu néonatal. Cette méthode donne une estimation de 280 cm^3 (DeSilva 2011). D'autres auteurs utilisent les dimensions de la cavité pelvienne ou à partir des dimensions crâniennes adultes, avec comme résultat des dimensions crâniennes comparables à celles d'un fœtus moderne de 32 – 33 semaines environ (Martin 1983 ; Walker et Ruff 1993), soit une capacité crânienne entre 193 et 232 cm^3. La différence d'au moins 50 cm^3 entre les deux estimations pourrait être due à une mauvaise reconstruction du bassin *Homo erectus* femelle, qui ne prendraient pas en compte les récentes données sur le dimorphisme sexuel au sein de cette espèce (Spoor *et al.* 2007 ; DeSilva 2011).

L'absence de données périnatales associée au fait que jusqu'à récemment le seul bassin disponible était celui d'un immature supposé masculin, KNM-WT 15000 (Brown *et al.* 1985 ; Trinkaus et Tompkins 1990 ; Walker et Ruff 1993) expliquent que peu d'hypothèses paléo-obstétricales ont été proposées pour *Homo erectus*. Toutes les analyses obstétricales sont en effet basées sur ces restes pelviens ainsi que sur la reconstruction des dimensions de la ceinture pelvienne d'une hypothétique femelle *Homo erectus* (Rosenberg 1992 p.112-113 ; Walker et Ruff 1993). Cette dernière méthode utilise le dimorphisme sexuel pour extrapoler les dimensions d'un individu femelle à partir des dimensions d'un individu mâle connu. Elle a ses limites : nous avons en effet souligné précédemment qu'il est difficile de connaître le dimorphisme sexuel des espèces fossiles (voir p. 57). La majorité de ces analyses obstétricales

concluent à une naissance rotationnelle (Abitbol 1996a ; Bouhallier 2006 p.181) *vs.* (Ruff 1995).

Aujourd'hui, grâce à la découverte du bassin quasi complet BSN49/P27[17] (Figure 14), de nouvelles hypothèses peuvent être proposées ; bien qu'il n'ait pas fait l'objet d'une étude obstétricale à proprement parler, ses dimensions pourrait permettre un accouchement eutocique (Frémondière et Marchal 2013) et la naissance d'un fœtus dont le cerveau serait de taille importante (Simpson *et al.* 2008), possiblement orienté transversalement dans le bassin maternel (Ruff 2010).

Figure 14. Le bassin de l'individu BSN49/P47 (*Homo erectus*).
Site de Gona, d'après Simpson, et al, 2008.

La morphologie du bassin d'*Homo heidelbergensis* est particulièrement bien connue grâce au site la Sima de los Huesos. On y a particulièrement retrouvé le spécimen Pelvis 1 (Arsuaga *et al.* 1999), un des bassins fossiles les plus complets (Figure 15). La morphologie de ce bassin est « *typique des premiers* Homo *»* (Bonmati *et al.* 2010) : un pilier iliaque très développé, une épine iliaque antéro-inférieure sigmoïde, une aile iliaque très ouverte latéralement, un pubis long (Arsuaga *et al.* 1999). Ce spécimen présente aussi une importante largeur bi-acétabulaire. Ce caractère peut être interprété comme une adaptation au froid (Arsuaga *et al.* 1997), mais il est plus probablement à mettre en relation avec une

[17] Bassin de Gona, *Homo erectus*

morphologie archaïque, car ce caractère est partagé par d'autres spécimens, comme A.L. 288-1 par exemple (Arsuaga *et al.* 1999). L'analyse des dimensions obstétricales de ce bassin met en évidence l'existence d'une naissance rotationnelle chez cette population (Arsuaga *et al.* 1999) et d'un accouchement eutocique (Arsuaga *et al.* 1999 ; Bonmati *et al.* 2010).

Figure 15. Le bassin Pelvis 1 (*Homo heidelbergensis*).
Site d'Atapuerca, Sima de los Huesos, d'après Arsuaga, et al. 1999

I.3.3.3. Les Néandertaliens

a. Morphologie pelvienne générale

Globalement, le bassin néandertalien est peu différent du bassin moderne (Marchal 2000b). Certains traits, comme la déviation de l'épine iliaque antéro-inférieure, la profondeur de l'échancrure entre les épines iliaques inférieures ou la position du pilier iliaque vertical peuvent être notés. La forme de l'ischium et la position de la tubérosité diffèrent, cette dernière étant plus latérale (Rak 1991b).

Le trait le plus marquant de la morphologie néandertalienne est la longueur et la minceur de la branche supérieure du pubis. Cette caractéristique a ainsi été décrite, dans un premier temps chez Tabun C1 (McCown et Keith 1939 ; Stewart 1960) et Amud (Endo et Kimura 1970). Depuis, Trinkaus (1976) a montré qu'il pourrait s'agir d'un trait dérivé des Néandertaliens, tant chez les individus proche-orientaux que chez les Européens. La section transverse de la branche supérieure présente elle-aussi une caractéristique dérivée : un

aplatissement antéropostérieur marqué (Marchal 2000a), qu'on retrouve d'ailleurs chez Regourdou 1 (Meyer *et al.* 2011a). L'étude de la morphologie des enfants néandertaliens (Tompkins et Trinkaus 1987 ; Majo 1995, 2000) montre que ce caractère s'exprime relativement tôt dans le développement, avant la puberté.

Le pubis plus long, associé à une cavité plus grande, permettrait de faire passer des fœtus à la tête plus volumineuse. Ce plus grand fœtus pourrait être le résultat d'un développement plus rapide (Dean *et al.* 1986). Trinkaus, en 1984, propose que cela soit dû à une gestation de 12 mois (la « gestation length hypothesis »). Il se rétracte en 1988 après les premières analyses paléo-obstétricales du nouveau bassin néandertalien de Kebara 2 (Rosenberg 1988). Parmi les nombreuses réactions à cette hypothèse, on peut noter celle d'Ivanhoe (1985), qui pose le diagnostic d'une acromégalie, une pathologie d'origine hormonale, dont certains Néandertaliens présenteraient les symptômes, hypothèse très vite réfutée (Trinkaus 1985b).

Les dimensions plus importantes du fœtus néandertalien pourraient trouver une explication dans la morphologie des adultes. C'est ce que propose Rosenberg, en 1988. La corrélation importante entre le poids de la mère et celui de l'enfant pourrait expliquer que chez les Néandertaliens, le fœtus à terme soit plus gros (Rosenberg 1988). Cette hypothèse est confortée par les observations de Trevathan (1988), pour qui la morphologie du pelvis et particulièrement du foramen obturé est due à une largeur d'épaule importante chez le fœtus. Si Anderson (1989) rejoint Rosenberg en proposant l'influence d'un facteur « taille du fœtus » sur la morphologie pubienne adulte, il souligne aussi que cela ne peut être la seule explication.

La longueur du pubis néandertalien pourrait être une adaptation locomotrice. C'est ce que pensent Rak et Arensburg (1987), après que leur reconstruction de Kebara 2 a mis en évidence une similitude des dimensions du détroit supérieur de ce Néandertalien avec les dimensions modernes. Ce caractère ne serait donc pas le résultat de contraintes obstétricales (Greene et Sibley 1986) mais plutôt celui de contraintes biomécaniques liées à la stature et la locomotion (Rak et Arensburg 1987 ; Anderson 1989).

On se place ici dans le même cas que lors de l'étude des différences entre le bassin australopithèque et le bassin *Homo*. Deux modèles expliquant la morphologie du pelvis

s'opposent : l'un est basé sur la locomotion, l'autre sur l'obstétrique. On a vu que dans le cas des Australopithèques, le modèle « locomotion » semble l'emporter, suite aux récentes découvertes (Kibii *et al.* 2011). En ce qui concerne Néandertal, il ne semble pas y avoir de réel consensus. La nécessité de nouvelles données est donc flagrante.

Par ailleurs, la comparaison avec les populations arctiques et subarctiques pourrait apporter certaines réponses. Les Néandertaliens représentent en effet une population fossile dont la morphologie est supposée être adaptée à un environnement froid et sec (Holliday 1997 ; Churchill 1998). Or, ces populations présentent une branche supérieure du pubis relativement longue. Ce caractère pourrait donc être une adaptation au froid des populations néandertaliennes (Ruff 1994). Mais on a vu aussi que les Australopithèques et les premiers représentants du genre *Homo* ont un pubis relativement long par rapport au reste du coxal, tout comme l'individu Pelvis 1[18] (Arsuaga *et al.* 1999) et Jinniushan [19] (Lü 1995). Cela pourrait donc constituer un caractère plésiomorphe (Marchal 1997, 2000a). Ces deux hypothèses, qui sortent du schéma de l'opposition entre nos deux précédents modèles, doivent encore être discutées.

Dans une liste qu'il considère comme exhaustive, Anderson (1989) propose d'autres hypothèses permettant d'expliquer la longueur du pubis néandertalien : l'existence de contraintes environnementales non identifiées, l'influence de la taille et du poids des individus ou une maturité sexuelle plus précoce. Notons enfin que la morphologie particulière de la branche supérieure du pubis et son dimorphisme sexuel (avec une longueur relative plus importante chez des individus considérés comme masculins) a été utilisée par certains auteurs pour mettre en évidence l'existence d'un dimorphisme sexuel pelvien particulier chez Neandertal, lié entre autres à un dimorphisme de taille générale important [(Rosenberg 1986, 1988), voir aussi p. 58]

[18] *Homo heidelbergensis*
[19] *Homo sapiens* archaïque

b. La bipédie des Néandertaliens

Il existe de nombreuses différences entre le squelette locomoteur des Néandertaliens et celui des Hommes anatomiquement modernes (Maureille 2007). L'interprétation de cette morphologie a donné lieu à des hypothèses variées. DelPrête (Del Prête 2000) considère que les Néandertaliens seraient les derniers représentants d'un groupe à la « bipédie archaïque » tandis que pour Ruff (1995), la robustesse des fémurs néandertaliens indique un avantage locomoteur conséquent. Lors de l'analyse de la robustesse diaphysaire il est important de mettre en lien ce caractère avec la masse corporelle et la stature de l'individu concerné (Trinkaus 2007 ; Trinkaus et Ruff 2012). Dans un premier temps, de tels travaux ont conclu à l'absence de différence entre la morphologie néandertalienne et la morphologie moderne (Trinkaus et Ruff 1999a, 1999b ; Trinkaus 2007) mais la récente ré-évalutation des formules permettant d'estimer la masse corporelle a finalement permis de mettre en évidence une différence de robustesse entre le membre inférieur néandertalien et le membre inférieur moderne (Trinkaus et Ruff 2012).

Par ailleurs, Neandertal présente des membres inférieurs relativement courts, surtout en ce qui concerne le segment distal (Trinkaus 1981, 1986 ; Steegmann *et al.* 2002) . Ce caractère a souvent été associé à l'adaptation au froid (Holliday 1997 ; Steegmann *et al.* 2002). L'avantage (Kramer et Eck 2000) ou le désavantage (Holliday et Falsetti 1995) que peuvent représenter des membres locomoteurs plus courts a été l'objet de nombreuses controverses biomécaniques (Gruss 2007). Il semblerait que si les membres inférieurs courts de Neandertal représentent un désavantage marqué en terrain plat (Steudel-Numbers et Tilkens 2004), ils pouvaient par contre être très efficaces en terrain accidenté et rocailleux (Higgins et Ruff 2011).

L'influence de la morphologie pelvienne néandertalienne sur la locomotion a été relativement peu discutée. Pourtant, certaines différences entre le bassin néandertalien et le bassin moderne pourraient avoir des conséquences fonctionnelles. Ainsi, réfutant toute hypothèse obstétricale, Rak et Arensburg (Rak et Arensburg 1987 ; Rak 1990) ont proposé que le pubis long néandertalien, associé à une conformation différente de la région sacro-iliaque, soit lié à une différence biomécanique, et particulièrement locomotrice. La posture et

la locomotion de Neandertal seraient moins efficaces, notamment en raison de la largeur du bassin (Rak 1993). Au contraire, une analyse couplée de la morphologie du fémur et de celle du bassin a été proposée par Chapman et collaborateurs (2010). D'après eux, la morphologie et les caractéristiques biomécaniques des muscles ischio-jambiers confèrent aux Néandertaliens un avantage locomoteur, par rapport aux Hommes anatomiquement modernes. L'analyse de l'orientation du bassin au sein du squelette du tronc permet d'apporter de nouvelles informations sur la biomécanique néandertalienne. Les Néandertaliens présenteraient un angle de lordose d'environ 30°, contre 50° chez les Hommes anatomiquement modernes (Been *et al.* 2012). S'accordant avec Polk (2004), les auteurs associent cela à des capacités locomotrices moindres et soulignent la nécessité de poursuivre des analyses biomécaniques en ce sens.

c. Données fœtales néandertaliennes (Tableau 2)

En ce qui concerne la population immature néandertalienne, plus de soixante-dix individus sont connus, ce qui représente environ 25 % des découvertes (Tillier 2000b). Parmi ces immatures, 11 sont âgés entre 0 et 1 ans : La Ferrassie 4, la Ferrassie 5 (Heim 1982a), Le Moustier 2 (Maureille 2002b), Kiik-Koba 2 (Vlcek 1973), Mezmaiskaya 1 (Golovanova *et al.* 1999), Kebara 1 (Arensburg *et al.* 1985), Amud 7 (Suzuki et Takai 1970) et Shanidar 7 (Trinkaus 1983), Sesselfelsgrotte 1 (Rathgeber 2006), Hortus 1 et 1bis (De Lumley 1972), et au moins deux individus à Saint-Césaire (Colombet *et al.* 2012).

La variabilité individuelle est importante : les deux enfants de Roc-de-Marsal et de Pech-de-l'Azé 1, par exemple, ont environ le même âge (2-3 ans) mais ils présentent des caractéristiques physiques très différentes (Tillier 1996). De nombreux auteurs soulignent l'absence d'homogénéité au sein de la population immature néandertalienne (Tillier 1987, 1996, 1998 ; Minugh-Purvis et Radovcic 2000 ; Tillier 2000b).

Les différences entre un immature néandertalien et un immature moderne sont bien moins marquées que celles existant entre les adultes (Tillier 1999 ; Barriel et Tillier 2002 ; Tillier 2007). Toutefois, certaines combinaisons de traits sont typiques des jeunes néandertaliens (Maureille 2002a), comme par exemple l'absence de dépression infra-orbitaire et l'ouverture

de la suture prémaxillaire (Maureille et Bar 1999 ; Dodo *et al.* 2002). Ces combinaisons peuvent être mises en place même chez des individus très jeunes (Maureille 2002a). L'ontogénie des apomorphies néandertaliennes est dite en mosaïque (Tillier 2007). On peut distinguer deux types de caractères : les précoces (ceux de la calotte, comme le chignon occipital et la fosse sus-iniaque, ceux de la voûte et ceux du temporal) et les tardifs (principalement ceux de la face, mais aussi certains reliefs occipitaux et temporaux) ; (Tillier 1983 ; Coqueugniot 1998 ; Tillier 2007). Certains caractères dits tardifs ont néanmoins été décrits chez des individus extrêmement jeunes (Heim 1982a ; Maureille 2002a).

Tableau 2. Données crâniennes fœtales néandertaliennes (fœtus à terme). Revue bibliographique.

Auteurs	Individus	Volume crânien (ml)	Périmètre crânien (mm)	Diamètres (mm)		
				Occipito-frontal	Suboccipito-bregmatique	Bipariétal
Abitbol 1996				129	104	107
Ponce de León, et al. 2008	Mezmaiskaya	422-436				
Gunz, et al. 2011	Le Moustier 2	408-428	339	114	97	88
Frémondière et Marchal 2013	Mezmaiskaya		325			90
	Pech de l'Azé*	326-384	336-355			90
	Roc de Marsal*	326-384	341-353			90-93

*Les dimensions de ces deux individus ont été estimées grâce à des formules de régression.

La reconstruction de Mezmaiskaya 1 a permis à Ponce de León et collaborateurs (Ponce de León *et al.* 2008) de mettre en évidence que les dimensions du fœtus à terme néandertalien sont très proches de celles du fœtus moderne, avec une capacité crânienne d'environ 420-430 cm^3 et un diamètre bipariétal de 90 mm. La reconstruction du néonatal du Moustier 2 ont amené Gunz et collaborateurs (2011) aux mêmes conclusions : le volume endocrânien du nouveau-né néandertalien est proche de celui des nouveau-nés modernes (entre 410 et 430 cm^3). Maureille et Majoufre (Maureille et Majoufre-Lefebvre 2003) avaient déjà souligné cette similitude entre nouveau-nés néandertaliens et modernes sur la base de la morphologie crânienne et infra-crânienne (longueur des os longs). Les données métriques sur les individus périnatals Le Moustier 2 et Mezmaiskaya peuvent être complétées en appliquant aux enfants

plus âgés des formules de régression qui permettent d'estimer leurs dimensions à la naissance (Coqueugniot 1994 ; DeSilva et Lesnik 2008 ; Frémondière et Marchal 2013). Les données fœtales néandertaliennes concernent finalement au moins quatre individus (Tableau 2). Lors de notre analyse obstétricale, nous pourrons alors confronter non pas deux individus (un bassin et un crâne) mais plutôt deux variabilités.

d. Paléo-obstétrique des Néandertaliens

Il existe de nombreuses références sur la naissance néandertalienne. Toutefois, on constate que, concrètement, très peu d'informations sur la morphologie de la cavité pelvienne de Neandertal et les mécaniques obstétricales existent (Rosenberg 1992).

La reconstruction de Kebara 2 par Rak et Arensburg (1987) montre un détroit supérieur de dimensions comparables aux dimensions modernes (Rak et Arensburg 1987 ; Rak 1990). La cavité pelvienne néandertalienne n'est donc pas aussi large que la longueur du pubis pourrait le prédire (Anderson 1989). À partir du même individu (Kebara 2), Tague (1992) met en exergue certaines différences avec l'Homme moderne, notamment au niveau des détroits supérieurs et inférieurs. Le détroit supérieur est plus spacieux, l'indice entre les circonférences des détroits supérieurs et inférieurs est faible, ce qui indique un rétrécissement du canal pelvien marqué. Le détroit inférieur est très ellipsoïde, avec un indice antéropostérieur/transverse de 77 (contre 102 chez les femmes modernes). Une telle morphologie associée à un degré de dimorphisme sexuel similaire au dimorphisme moderne impliquerait une impossibilité pour les Néandertaliens de mettre au monde des nouveau-nés à la tête volumineuse. Il considère ainsi que la relation céphalo-pelvienne est moins favorable chez Neandertal que chez l'Homme moderne. Rosenberg (1992) exprime ses doutes quant à cette dernière affirmation. En effet, les difficultés et l'importance de la dystocie actuelles sont telles qu'il lui est difficile d'imaginer que cela ait pu être pire et maintenu pendant si longtemps dans le passé.

L'analyse des dimensions fœtales et pelviennes permet à Abitbol (Abitbol 1996a) d'arriver à la conclusion que la rencontre entre le fœtus néandertalien à la tête large, et le bassin néandertalien, très étroit, induit un accouchement dystocique, notamment au niveau du

détroit moyen. Cette dystocie du détroit moyen est bien documentée chez l'Homme moderne et touche près de 10% des naissances (Abitbol 1996a).

Son étude de la conformation pelvienne de Kebara 2 a conduit Bouhallier (2006) à une tout autre conclusion. Mise à part une modification de l'engagement, due à l'absence d'avancée du promontoire dans la cavité pelvienne, il n'y aurait pas de différence entre l'accouchement néandertalien et le nôtre. La présentation en oblique, la rotation et l'expulsion anté-ischiatique ne se distinguent pas des mécaniques modernes. L'utilisation pour la première fois de données de conformation et non de données linéaires apporte ainsi un nouvel angle de vue à cette controverse.

Jusqu'en 2008, la majeure partie des hypothèses proposées concernant la parturition néandertalienne était construite à partir de l'étude du bassin de Kebara 2. En 2008 et 2009, deux nouvelles hypothèses obstétricales sont proposées, construites cette fois sur le bassin reconstruit de Tabun C1. L'utilisation de ce spécimen peut poser problème, en raison de sa faible représentation et des limites de sa reconstruction. Nous aurons l'occasion d'approfondir cette question en partie discussion (voir p. 286).

À partir de la reconstruction de cette ceinture pelvienne, Weaver et Hublin (2009) mettent en évidence des mécaniques obstétricales néandertaliennes très particulières. Si les aires des détroits supérieurs et inférieurs sont sensiblement les mêmes que pour un bassin moderne, la forme générale des détroits est plus proche de ce qu'on peut observer chez les Australopithèques. Ils sont tous deux ovales transversalement, avec un ratio diamètre antéropostérieur/diamètre transverse inférieur à 1. Il n'y aurait donc pas de rotation du fœtus dans la cavité pelvienne, mais une expulsion de celui-ci dans sa position d'engagement, soit transverse. Une expulsion transverse représenterait alors un schéma unique dans l'évolution humaine. Du point de vue de la difficulté du travail, les données des auteurs sur l'aire des détroits et la taille de la tête fœtale néandertalienne indique une naissance aussi difficile que la naissance moderne (Weaver et Hublin 2009).

Les travaux de Ponce de León et collaborateurs (2008) ont porté sur la morphologie du fœtus et leur reconstruction du bassin de Tabun C1 est basée sur la morphologie du crâne du

nouveau-né de Mezmaiskaya. Ils concluent à une naissance rotationnelle dont la difficulté serait équivalente à la celle de la naissance moderne.

Cette dernière conclusion est donc en complète contradiction avec celle de Hublin et Weaver (2009). La différence de point de vue est flagrante entre ces deux études : Ponce de León et collaborateurs parlent avant tout d'encéphalisation et de développement néonatal tandis que Weaver et Hublin abordent la question d'un point de vue purement obstétrical (Franciscus 2009). On voit ici, à nouveau, l'importance des objectifs de l'étude, de l'interprétation de la reconstruction et surtout de la reconstruction elle-même. Dans ce contexte, la solution pourrait venir d'une troisième reconstruction de Tabun C1 mais aussi, et surtout, de l'arrivée d'un nouveau spécimen.

Nous avons l'opportunité de travailler sur un nouveau spécimen néandertalien : Regourdou 1. Il permettra d'envisager différemment à la fois le processus de reconstruction virtuelle mais aussi les conclusions qui en découlent.

Cet état de l'art nous a permis de mieux comprendre la richesse contextuelle de notre recherche. Celle-ci s'inscrit au sein de plusieurs disciplines et thématiques : la description des restes inédits de la ceinture relève de la paléoanthropologie classique tandis que leur reconstruction fait intervenir la paléoanthropologie virtuelle et la morphométrie géométrique. Par ailleurs, notre analyse obstétricale de cette ceinture s'appuie sur des connaissances obstétricales concernant différents aspects de l'accouchement moderne (mécanismes, contexte spatio-temporel, conséquences) ainsi que la paléo-obstétrique.

Matériel

Le matériel utilisé dans cette étude est composé d'Hommes anatomiquement modernes et de Néandertaliens et parmi ces derniers, Regourdou 1 est au cœur de notre problématique. L'ensemble de notre matériel est adapté aux trois objectifs de notre travail : (1) la description morphométrique du matériel fossile, (2) la reconstruction du bassin Regourdou 1 et enfin (3) l'analyse obstétricale de ce dernier. À chacun de ces trois volets correspond du matériel de comparaison précis, détaillé dans le Tableau 3.

Tableau 3. Matériel utilisé au cours de cette étude.

	Hommes anatomiquement modernes	Néandertaliens
Description morphométrique	Matériel ostéologique 77 individus de 20-60 ans 40 hommes ; 30 femmes ; 7 indéterminés	- Matériel original : La Chapelle aux Saints 1 ; La Ferrassie 1 et 2 ; Tabun C1 - Moulages : Feldhofer 1 ; Kebara 2 ; Subalyuk 1 - Matériel virtuel : Krapina 207, 208, 209 - Littérature
Reconstruction du bassin Regourdou 1	Matériel virtuel 79 individus de 20-79 ans 35 hommes ; 44 femmes	Matériel virtuel : Kebara 2
Analyse obstétricale du bassin Regourdou 1	Matériel virtuel 151 individus de 18-79 ans 73 hommes ; 78 femmes	Matériel virtuel : Kebara 2, Tabun C1

II.1. Hommes modernes

II.1.1. Matériel ostéologique

Le matériel ostéologique archéologique a été utilisé comme matériel de comparaison dans le cadre du premier volet de notre travail : la description morphométrique des restes inédits de la ceinture pelvienne de Regourdou 1. La nécessité d'un nombre important de données s'est heurtée à la faible disponibilité d'os coxaux au sein d'une unique collection de référence. Nous avons donc fait le choix d'étudier des individus issus de plusieurs collections, donc de populations différentes. Ce choix présente l'avantage de prendre en compte la variabilité inter-populationnelle. Par ailleurs, toutes nos populations anatomiquement modernes de comparaison ostéologiques sont subactuelles, l'utilisation de mesures absentes de la littérature

(voir partie méthodes, p. 120) ayant limité l'intégration d'individus du Paléolithique moyen du Proche Orient ou de populations du Paléolithique supérieur.

Soixante-dix-sept individus composent notre échantillon ostéologique de comparaison : quarante hommes, trente femmes et sept individus de sexe indéterminé, dont l'âge varie entre 20 ans et plus de 60 ans. Ils sont issus de trois séries différentes d'os coxaux et de sacrums, provenant de sites français et conservées à l'Ostéothèque de Pessac (UMR 5199 CNRS – PACEA-A3P). La détermination sexuelle de ces individus a été faite grâce à la méthode Bruzek (Bruzek 2002) et à la diagnose sexuelle probabiliste (Murail *et al.* 2005). Les trois séries sont les suivantes :

- La collection de Jau-Dignac (n = 27 individus, 18 hommes, 5 femmes, 4 indéterminés) provient du cimetière de « la Chapelle Saint-Siméon » (Jau-Dignac-et-Loirac, Gironde). Ce site a connu plusieurs périodes d'occupation : époque mérovingienne, médiévale et moderne (Cartron et Castex 2006). Les individus utilisés pour notre étude sont issus de ces différentes populations sans qu'un choix particulier ait été opéré.
- La collection de Jonzac (n=18 individus, 16 hommes, 2 femmes) provient de la nécropole Saint-Gervais et Saint Protais (Jonzac, Charente-Maritime). Deux occupations successives, mérovingienne et du bas Moyen-âge, caractérisent ce site (Maurel 2009).
- La collection de Taupin (n=32 individus, 6 hommes, 23 femmes, 3 indéterminés) provient du cimetière du Couvent des Sœurs Grises (Beauvais, Oise). Cet ordre a été actif entre les XVe et XVIIIe siècles (Kacki et Villote 2006).

II.1.2. Base de données virtuelle

Le matériel virtuel a été utilisé dans les deuxième et troisième volets de ce travail, c'est-à-dire la reconstruction virtuelle et l'analyse obstétricale du bassin Regourdou 1. Notre échantillon initial est composé de clichés CT-scans[20] de 260 pelvis modernes appartenant à 133 femmes et 127 hommes, dont l'âge varie de 18 à 87 ans. Ces 260 individus ont été scannés lors d'examens médicaux au Département de radiologie de l'Université de la

[20] CT-scans pour Computed-Tomography scanners

Méditerranée, Aix-Marseille II, dans les locaux de l'hôpital de Marseille-Nord. Le scanner utilisé pour ces examens est un scanner hélicoïdal (Siemens sensation 64 ©). L'épaisseur de coupes des examens varie entre 0,6 et 1 mm. Les images ont été collectées par J. Bruzek et utilisées avec l'accord de la Dre K. Chaumoitre, responsable de cette unité, qui dispose de l'autorisation du Comité d'éthique pour leur utilisation.

Utiliser le même échantillon pour la reconstruction et pour l'analyse qui en découle produirait un effet tautologique conséquent, c'est la raison pour laquelle nous avons fait le choix de partager en deux notre échantillon de CT-scans. Il a été aléatoirement divisé à l'aide du logiciel R 2.13.1 (R Developpement Core Team 2011). Cette opération a pour but de créer les deux groupes qui seront nécessaires pour les deux parties de notre travail : l'échantillon de référence pour la reconstruction virtuelle du bassin Regourdou 1, et l'échantillon de comparaison pour son analyse obstétricale.

À partir de cette collection de scanners, une base de données de pelvis virtuels a pu être construite grâce au logiciel TIVMI® (voir méthodes). Certains individus présentaient soit des traumatismes affectant la morphologie générale du pelvis, soit des traumatismes sur les parties molles de l'abdomen. L'observation de ces derniers nécessite l'injection d'un produit « densifiant » à l'intérieur de l'organisme, ce qui a pour conséquence de rendre visible les parties molles sur les pelvis virtuels, bloquant l'accès à l'information ostéologique. Enfin, nous avons constaté qu'à partir d'un certain âge, la perte de densité de l'os ou au contraire, la présence massive d'arthrose ont des conséquences non négligeables sur la création même de l'image et/ou la prise de points de référence. Nous n'avons pas conservé ces individus. En conséquence, notre effectif a diminué et finalement, notre échantillon de référence pour la reconstruction est de 79 individus, 35 hommes et 44 femmes, dont l'âge varie de 20 ans à 79 ans (Figure 16) et l'échantillon de comparaison pour l'analyse obstétricale est composé de 151 individus, 73 hommes et 78 femmes, entre 18 ans et 63 ans (Figure 16).

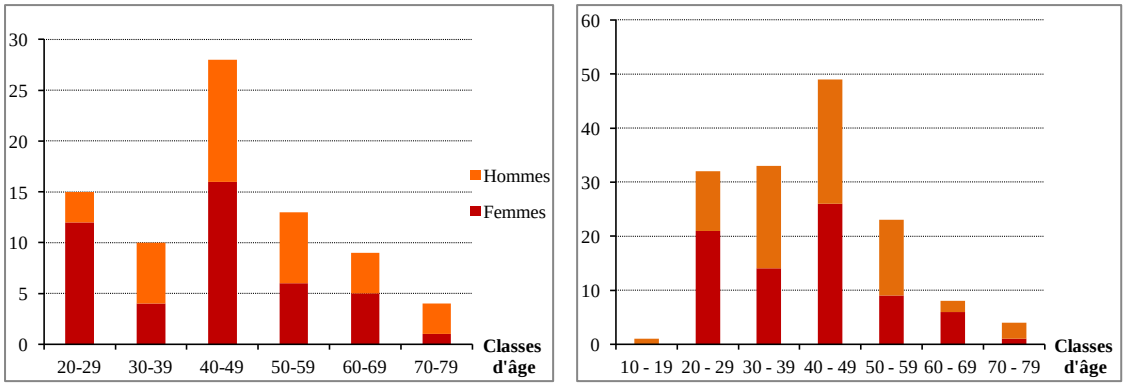


Figure 16. Répartition selon l'âge et le sexe des sujets de l'échantillon de référence pour la reconstruction (à gauche) et pour l'analyse obstétricale (à droite) du bassin Regourdou 1.

II.2. Néandertaliens

Nota Bene

La relation taxinomique entre l'Homme anatomiquement moderne et la population néandertalienne, ainsi que l'homogénéité géographique et temporelle de cette dernière sont l'objet de nombreuses controverses (Thoma 1957, 1958, 1965 ; Vandermeersch 1989 ; Mann 1995 ; Arensburg et Belfer-Cohen 1998 ; Currat et Excoffier 2004 ; Orlando *et al.* 2006 ; Tillier *et al.* 2008). Dans le cadre de notre travail, ces questions sont de moindre importance et ne seront abordées qu'en discussion. Dans un souci de clarté rédactionnelle et pour simplifier certains aspects de notre réflexion, nous avons choisi dans cet ouvrage, de nous placer dans le paradigme le plus couramment admis : la population néandertalienne s'étend sur le continent eurasiatique, elle comprend donc à la fois des spécimens européens et des spécimens proche-orientaux (Vandermeersch 2007). La variabilité géographique et temporelle de cette population est aujourd'hui mieux connue (Vandermeersch et Garralda 2011) et de récentes données génétiques semblent confirmer l'existence de trois groupes différents au sein de la population néandertalienne : l'un à l'ouest de l'Europe, l'autre au sud de l'Europe et le troisième en Asie (Fabre *et al.* 2009). Nous considérerons aussi que c'est une espèce paléontologique distincte de l'Homme anatomiquement moderne (Mayr 1950 ; Simpson 1961). Ce dernier postulat peut se discuter, au regard des récents résultats sur la génétique néandertalienne (Green *et al.* 2010). Il y aurait eu hybridation entre les deux populations au Paléolithique moyen, résultats confirmés par Sanchez-Quinto et collaborateurs

(2012). Toutefois, d'autres études soulignent qu'au contraire, un aussi faible échange de gènes est la preuve de la distinction spécifique entre deux populations (Currat et Excoffier 2011 ; Neves et Serva 2012).

II.2.1. Inventaire des restes pelviens néandertaliens

Il existe de nombreux restes pelviens associés aux Néandertaliens (Tableau 4), dont la conservation est très inégale. Par exemple, Kebara 2 (Arensburg *et al.* 1985 ; Rak et Arensburg 1987) est pratiquement complet tandis que les restes du site de Shanidar (Solecki 1960 ; Trinkaus 1983) sont très fragmentés.

Le cas des sites de Feldhofer et de Spy est particulier. En effet, dans leur première étude des restes de Spy, Fraipont et Lohest (1887) indiquent la présence de fragments de coxaux (particulièrement de pubis) qu'on ne retrouve pas dans l'inventaire actuel (Rougier *et al.* 2004). Ces fragments auraient été perdus au cours du XXe siècle, en raison des nombreux déplacements qu'ont subis les restes de Spy (Rougier *et al.* 2004). Au contraire, de récentes fouilles sur le site de Feldhofer ont permis la découverte de nouveaux restes néandertaliens, dont certains associés à l'individu Feldhofer 1, comme par exemple un fragment d'ischium droit. D'autres fragments, qui n'appartiennent pas à cet individu (un fragment d'acétabulum et un fragment de coxal), vraisemblablement néandertaliens, complètent ce matériel (Schmitz *et al.* 2002).

Notre matériel de comparaison néandertalien est composé des individus dont l'état de conservation et la représentation sont les meilleures. Pour certains spécimens, les contingences matérielles et temporelles nous ont obligée à faire le choix de l'utilisation de moulages. Le spécimen de Kebara 2 est le seul dont les CT-scans ont été utilisés pour la reconstruction virtuelle du bassin Regourdou 1. Les autres individus étant incomplets, les utiliser dans le cadre de notre reconstruction aurait nécessité dans un premier temps de les reconstruire eux-mêmes, ce que nous n'avons pas voulu faire. L'utilisation de Kebara 2 comme référence pour la reconstruction d'un néandertalien européen peut être sujette à caution, du fait des questions subsistant sur l'identité taxinomique des Néandertaliens du

Proche-Orient. Elle se justifie néanmoins par le fait que c'est le bassin le plus complet du Paléolithique moyen en Eurasie.

Tableau 4. Catalogue des restes pelviens adultes néandertaliens.

Zone géographique	Spécimen	État de conservation	Ilium		Ischium		Pubis		Sacrum
			D	G	D	G	D	G	
Europe	La Chapelle aux Saints 1[1]	Fragmenté	**	**	*	**	-	-	*
	Las Palomas 92[14]	« Pelvis incomplet »	?	?	?	?	?	?	?
	Las Palomas 96[13]		**	**	***	***	***	***	*
	La Ferrassie 1[2]	Fragmenté	**	***	**	*	**	**	**
	La Ferrassie 2[2]	Subcomplet	**	**	***	***	-	-	*
	Hortus -LV[3]	Un fragment	-	*	-	-	-	-	-
	Spy 1[4 - 12]		-	-	-	-	-	-	*
	Spy 2[4 - 12]		-	-	-	-	-	-	
	Feldhofer 1[5]	Coxal gauche uniquement	-	***	*	**	-	-	-
	Site de Feldhofer [11]	Associés à Feldhofer 1 ?	* ?		*				*
	Krapina 208[6]	Coxal droit uniquement	*	-	*	-	*	-	-
	Krapina 209[6]	Coxal droit uniquement	**	-	*	-	-	-	-
	Zafarraya[15]		-	-	-	-	-	*	-
Asie du Sud-Ouest	Tabun C1[7]	Très fragmenté et abimé	*	**	**	-	**	**	-
	Kebara 2[8]	Pratiquement complet	**	***	***	***	***	-	***
	Amud SH2[9]	Très fragmenté et abimé	**	**	*	*	-	*	*
	Shanidar 1[10]	Fragmenté	**	**	**	*	**	**	***
	Shanidar 3[10]	Fragmenté	**	-	**	*	*	**	**
	Shanidar 4[10]	Très fragmenté	*	**	-	**	**	*	**
	Shanidar 5[10]	Fragments non latéralisés							
	Shanidar 6[10]								

(-) : absent ; * : présent mais faiblement représenté ; ** : présent, représentation moyenne et état moyen ; *** : complet ou sub-complet. [1](Boule 1912) ; [2](Heim 1982b) ; [3](De Lumley 1972) ; [4] (Toussaint sous presse) ; [5](Schaaffhausen 1888) ; [6](Gorjanovic-Kramberger 1906) ; [7](Mc Cown et Keith 1939) ; [8](Rak 1991b) ; [9](Endo et Kimura 1970) ; [10](Trinkaus 1983) ; [11](Schmitz *et al.* 2002) ; [12](Fraipont et Lohest 1887) ; [13](Walker *et al.* 2011c) ; [14](Walker *et al.* 2011a) ; [15](Hublin *et al.* 1995)

II.2.2. Regourdou 1

Les restes de la ceinture pelvienne de Regourdou 1 sont exceptionnels et leur présence au sein de ce travail résulte d'une formidable « aventure ».

II.2.2.1. Présentation générale du site de Regourdou

Situé sur la commune de Montignac, à l'est de la ville (Figure 17), le gisement de Regourdou est localisé sur la rive gauche de la Vézère à 205 m d'altitude (Piveteau 1959 ; Madelaine *et al.* 2008).

Figure 17. Localisation du site de Regourdou.
Modifié d'après (Madelaine *et al.* 2008)

Creusée dans un calcaire santonien, la grotte est une vaste cavité karstique, effondrée sur elle-même et dont l'ouverture n'a pas été retrouvée (Piveteau 1963 ; Harielle 1985 ; Madelaine *et al.* 2008). Actuellement, le site se présente sous la forme d'une grande dépression (Figure 18), orientée N-S de 23 m de long, 11 m de large et de 4 m de profondeur au nord à 6,7 m à l'ouest (Harielle 1985).

Figure 18. Le site de Regourdou aujourd'hui. (Photographie V. Meyer)

La datation précise du site est inconnue. Le remplissage de la grotte comprend trois ensembles archéologiques (voir Annexe B, p. iv), qui selon Bonifay, se rapporteraient pour le premier au début du Würm ancien, le deuxième au premier interstade et le troisième à la fin du Würm ancien (Bonifay *et al.* 2007). L'analyse faunique permettrait d'associer les couches inférieures au début du Würm (Bonifay et Vandermeersch 1962 ; Piveteau 1963 ; Delpech 1996) et d'estimer la couche 4, qui livre les restes humains comme appartenant à la seconde moitié de OIS 5 (Delpech 1996). Certains auteurs (Vallois 1965 ; Simard 1968 ; Gambier 1982 ; Vandermeersch et Trinkaus 1995) associent plutôt cette couche à l'OIS 4, s'appuyant pour cela sur l'analyse sédimentologique ou microfaunique. Aujourd'hui, aucune datation radiochronologique n'est disponible.

La stratigraphie du site est complexe (Piveteau 1963 ; Bonifay 1965a). Entre les énormes dalles rocheuses qui servent de substratum à la séquence moustérienne (Maureille, et al. 2001) et la couche S, composée de sables rouges accumulés dans la dépression, huit couches successives ont pu être définies : les niveaux les plus récents sont surtout des niveaux d'éboulis, avec peu de restes mis au jour. Les niveaux 4 à 8 sont des dépôts sableux à faune tempérée (cerf, sanglier, chevreuil, castor, ours) selon Piveteau (1963). Seule la couche 4, dans laquelle la sépulture a été retrouvée, pourrait être rapportée à un habitat temporaire (Piveteau 1963).

II.2.2.2. Historique[21]

En 1954, Roger Constant entreprend de fouiller « un petit affleurement de terre rougeâtre contenant quelques fragments d'ossements et des silex taillés » situé sur son terrain (Bonifay *et al.* 2007). En 1957, ayant obtenu l'autorisation administrative de mener des fouilles archéologiques, il met au jour des ossements humains. Les circonstances de la découverte sont imprécises et mal connues (Piveteau 1959 ; Bonifay et Vandermeersch 1962 ; Piveteau 1963 ; Maureille *et al.* 2001 ; Bonifay *et al.* 2007 ; Madelaine *et al.* 2008).

Les circonstances particulières de la découverte et la fragilité de la galerie poussent M. Prechet (directeur général de l'architecture) à interrompre la fouille de R. Constant et à entreprendre une campagne de fouille de sauvetage sous la direction de F. Bordes (Bonifay *et al.* 2007). Cette campagne est effectuée par ce dernier, ainsi qu'E. Bonifay et G. Laplace-Jauretche du 2 au 5 octobre 1957 (Piveteau 1963) et permet de sauver une partie des restes humains (Madelaine *et al.* 2008).

Le site est ensuite mis sous scellés jusqu'en 1961, date à laquelle les fouilles reprennent sous la direction d'E. Bonifay (Bonifay *et al.* 2007), à raison de deux campagnes d'environ deux mois par an avant d'être interrompues en 1964 (Madelaine *et al.* 2008).

Après leur découverte, les ossements humains subissent de nombreux déplacements (du Muséum National d'Histoire Naturelle au site de Regourdou puis au Laboratoire d'Anthropologie de l'Université Bordeaux 1, pour certains d'entre eux) avant d'être acquis par le Musée d'Art et d'Archéologie du Périgord en 1984 (Madelaine *et al.* 2008).

En 2008, dans le cadre de travaux de récolement des collections des musées de France[22], le MNP (Musée National de Préhistoire, aux Eyzies de Tayac-Sireuil) passe en revue la totalité du matériel présent dans ses collections. S. Madelaine, chargé des collections fauniques, effectue l'inventaire des restes fauniques de Regourdou. Parmi ceux-ci, il découvre, le 21 mai 2008, une diaphyse fémorale droite, qu'il associe à une diaphyse humaine et plus précisément à un individu néandertalien (Madelaine *et al.* 2008). Finalement, treize

[21] L'historique du site de Regourdou est très controversé ; nous présentons les données actuellement connues et publiées, tout en rappelant la nécessité d'un regard critique à leur égard.
[22] Travaux de récolement des collections des musées de France, régis par l'article L.451-2 du Code du Patrimoine et mis en œuvre entre 2004 et 2014.

nouveaux éléments permettent de reconstituer une grande partie du squelette appendiculaire inférieur de Regourdou 1 (Figure 19).

II.2.2.3. La sépulture

La présence d'un dépôt humain intentionnel au sein de la couche 4 est aujourd'hui reconnue (Leroi-Gourhan 1964 ; Otte 1993 ; Bonifay *et al.* 2007 ; Maureille et Vandermeersch 2007 ; Maureille et Tillier 2008). Ce dépôt ainsi que les gestes funéraires complexes qui lui ont été associés par certains auteurs confèrent au site une importance capitale (Piveteau 1963, 1966). En effet, dans l'ensemble du niveau 4, de nombreuses structures ont été décrites (Bonifay 1965a, 1965b), qui pourraient être associées à des pratiques cultuelles mais aussi à l'aménagement de la grotte par les Néandertaliens en vue de favoriser leur accès à la couche sépulcrale (Bonifay *et al.* 2007). L'architecture précise de la sépulture et la position exacte du corps à l'intérieur de celle-ci restent mal connues, en raison de perturbations dues aux travaux de R. Constant (Bonifay *et al.* 2007). De même, la « position fœtale » reconstituée du corps (Bonifay *et al.* 2007) est à considérer avec circonspection (Maureille *et al.* sous presse). Nos connaissances actuelles sur l'âge du site fait de Regourdou 1 un des plus vieux dépôts humains moustériens d'Europe (Turq *et al.* 2008) même s'il convient de rester prudent, puisque la ré-évaluation de nombreuses sépultures néandertaliennes permet l'obtention de nouveaux résultats, comme à Spy, par exemple (Semal *et al.* 2009).

Un des traits les plus frappants de l'individu Regourdou 1 est l'absence du calvarium. Trois hypothèses peuvent expliquer cette absence : un vol lors de la découverte (Roussot 2003) ; des gestes funéraires particuliers, comme ceux déjà évoqués pour Kebara 2 (Arensburg *et al.* 1985) ; un déplacement causé par les ours (Madelaine *et al.* 2008) ou des processus sédimentologiques (Maureille *et al.* sous presse).

Enfin, la découverte de très nombreux restes d'ours brun à proximité du corps a conduit E. Bonifay à proposer l'existence de gestes funéraires impliquant l'ours (Bonifay et Vandermeersch 1962 ; Bonifay 1965b ; Bonifay *et al.* 2007 ; Bonifay E. 2008). Les données sur les religions et les rites néandertaliens restent pour beaucoup du domaine de

l'hypothèse et il convient d'appliquer ici les mises en garde d'A. Leroi-Gourhan contre l'extrapolation à outrance (Leroi-Gourhan 1964). L'accumulation d'Ours brun dans ce site pourrait être la conséquence de divers processus, comme une activité de boucherie, un piégeage durant l'hibernation (Bonifay M.-F. 2008) ou l'utilisation de ce site comme un repaire par les animaux (Cavanhié 2010).

II.2.2.4. L'individu Regourdou 1

a. Représentation et taphonomie

Le squelette de l'individu néandertalien Regourdou 1 (Figure 19) est parmi les mieux représentés d'Europe. En ce qui concerne le squelette appendiculaire, on retrouve une grande partie des membres supérieurs (les os du bras et de l'avant-bras droit sont complets, les os des extrémités sont nombreux) tandis que les membres inférieurs sont moins représentés. Les ceintures sont représentées par les deux clavicules et des fragments d'os coxaux. Enfin, on retrouve de nombreuses vertèbres et la partie proximale du sacrum. Le bloc cranio-facial est absent sauf la mandibule (Madelaine *et al.* 2008).

La représentation actuelle de Regourdou 1 met en évidence l'importance des découvertes de 2008 (Figure 19). Avant celles-ci, la représentation squelettique de Regourdou 1 était assez déséquilibrée, avec une forte prédominance du squelette supérieur.

Les phalanges de pieds ou de mains sont bien conservées, à l'inverse d'os comme la scapula ou les os des membres inférieurs (Maureille *et al.* sous presse). Cette préservation différentielle entre les phalanges et le reste du squelette n'est pas si exceptionnelle, elle a aussi été notée chez Shanidar, par exemple (Trinkaus 1982, 1983). De la même façon, il existe une différence d'état entre les restes de 1957 et ceux de 2008, beaucoup plus fragiles et fragmentés.

Figure 19. Représentation squelettique de l'individu Regourdou 1 en 2007 (a) et après les découvertes de 2008 (b).

Les restes de 1957 ont souvent été traités, consolidés [Bonifay, comm. pers. *in* (Maureille *et al.* sous presse)], moulés, manipulés et ils présentent ainsi une patine particulière [voir le sacrum, par exemple (Meyer *et al.* 2011a)]. Enfin, on observe des cassures récentes, très nettes sur de nombreuses pièces, comme les côtes, la mandibule, l'humérus gauche, les coxaux et le tibia (Meyer *et al.* 2011a ; Maureille *et al.* sous presse). Ces différentes atteintes pourraient être dues aux circonstances de la découverte et à l'histoire post-fouille des vestiges.

Maureille et collaborateurs (sous presse) soulignent tout de même que certaines traces observables sont aussi la conséquence de processus taphonomiques non anthropiques. C'est le cas de l'érosion de la mandibule ou de l'absence des parties proximales de la fibula et de l'humérus gauches. Elles pourraient être dues à divers phénomènes (la circulation d'eau, par exemple). Des traces de rongement présentes au niveau de l'extrémité proximale de la diaphyse fémorale, semblent de plus dues aux ours bruns (Maureille *et al.* sous presse), ce qui confirme l'influence que ces derniers ont pu avoir sur le dépôt humain à l'époque du Moustérien et va dans le sens de la fonction du site, selon Cavanhié (2010).

b. Données biologiques

- Âge au décès

Regourdou 1 étant un individu adulte, son âge au décès est donc difficile à estimer (Ferembach *et al.* 1979 ; Schmitt 2002). Avant 2008, les seuls indicateurs disponibles étaient sa dentition inférieure et sa clavicule. Toute les dents mandibulaires ont fait leur éruption et présentent des facettes d'usure sur leur surface occlusale. Vandermeersh et Trinkaus (1995) ont donc appliqué la méthode des stades d'attrition dentaire de Molnar (1971) pour estimer son âge au décès. Les stades obtenus sont : stade 4 pour les incisives, stades 3 et 4 pour les canines, 2 et 3 pour les prémolaires et enfin, respectivement 4, 3 et 2 pour les premières, deuxièmes et troisièmes molaires. Cette usure peut être qualifiée de minimale à modérée et indique un âge jeune, « *probablement pas supérieur à 25 ans* » (Vandermeersch et Trinkaus 1995, p. 441). Les tentatives de corrélation entre l'âge et l'usure dentaire ont généré beaucoup de méthodes (Miles 1963 ; Molnar et Molnar 1990 ; Richards et Miller 1991 ; Kim *et al.* 2000 ; Miles 2001 ; D'incau *et al.* 2012) qui se heurtent à la variabilité importante de l'usure (Smith 1984 ; Hillson 1996 ; Miles 2001 ; D'incau *et al.* 2012). Il est de plus difficile de les transposer à des individus fossiles. Toutefois, en fonction de l'attrition et de l'abrasion dentaire de certains néandertaliens, comme La-Chapelle-aux-Saints 1 (Boule 1912), La Ferrassie 1 (Heim 1982b), les individus de Krapina (Wolpoff 1979) ou encore Shanidar 1 (Trinkaus 1983), il n'est pas illégitime de supposer que les restes de Regourdou 1 représentent un individu plus jeune que ces derniers.

L'absence de certaines zones ou l'état de conservation des restes rendent impossible l'application de méthodes d'estimation de l'âge au décès utilisant la symphyse pubienne et la surface auriculaire iliaque (Schmitt et Broqua 2000 ; Schmitt 2005). Par contre, notre descriptions des restes (Meyer *et al.* 2011a) a permis de mettre en évidence certains traits que l'on peut relier à l'âge. Par exemple, l'absence de fusion complète de la ligne de suture entre la première et la deuxième vertèbre sacrée (voir p.157) confirme que nous sommes en présence d'un jeune adulte (Belcastro *et al.* 2008) tout comme la présence d'une fente sur la surface auriculaire de l'ilium gauche (voir p.173).

- Sexe

Le sexe de Regourdou 1 est aujourd'hui encore sujet à controverse. Vallois (1965) indique, sans plus de précisions, que l'examen des restes a montré qu'il s'agit là d'un jeune adulte de sexe masculin. Dans leur publication, Vandermeersh et Trinkaus (1995) considèrent le sexe de Regourdou 1 comme non déterminable. Ils se basent pour cela sur les dimensions générales de l'individu, qui se situent au niveau du chevauchement entre les groupes masculin et féminin des Néandertaliens européens [sexés grâce à la morphologie pelvienne (Trinkaus 1980)]. Si les dimensions de l'humérus, du talus et du radius rapprochent Regourdou 1 des Néandertaliens supposés masculins, il n'en va pas de même pour le diamètre de la tête humérale (plus proche des valeurs des sujets néandertaliens supposés féminins) ou pour l'épaisseur du pubis et la largeur de l'articulation distal de l'humérus (qui situent Regourdou 1 entre les valeurs supposées féminines et masculines).

Notons que, dans certaines des nombreuses publications où il est utilisé comme matériel de comparaison, Regourdou 1 est souvent considéré comme masculin (Carretero *et al.* 1997 ; Churchill et Formicola 1997 ; Gomez-Olivencia *et al.* 2007 ; Gomez-Olivencia *et al.* 2009). Diverses méthodes de détermination du sexe lui ont été appliquées. Carretero, utilisant les dimensions de la clavicule, détermine Regourdou 1 comme un mâle à 99% (Carretero *et al.* 1997) ; en 2007, Gomez-Olivencia et collaborateurs déterminent le sexe de Regourdou grâce à l'utilisation des formules de Wescott, fonctions discriminantes construites sur les dimensions de l'axis (Wescott 2000), dont la précision est de 83% (Gomez-Olivencia *et al.*

2007). Une si faible précision ainsi que la spécificité populationnelle d'une telle diagnose sexuelle ne permet pas de la considérer comme concluante (Bruzek 1991).

Il est clair que les estimations du sexe de l'individu Regourdou 1 sont fragiles et ne reposent sur aucun élément diagnostique. À nos yeux, le sexe de Regourdou 1 ne peut être considéré « avec certitude » comme masculin. Aujourd'hui, l'étude des restes de la ceinture pelvienne de Regourdou 1 pourrait apporter de nouvelles précisions sur son sexe grâce, entre autres, à la présence de la grande incisure ischiatique ou de la partie postérieure du détroit supérieur. Toutefois, compte tenu de la prudence qu'il faut adopter dans le cadre de la détermination sexuelle d'individu fossile (Bruzek 1991), nous n'aborderons ce sujet qu'en discussion, à l'aune de nos résultats. Par ailleurs, nous avons vu que la méconnaissance du sexe de Regourdou 1 n'est pas un frein à notre analyse obstétricale, puisque son bassin apportera de toute façon de nouvelles informations sur la morphologie pelvienne néandertalienne.

- Stature et masse corporelle

Les formules de Trotter et Gleser (1952) utilisant les données du radius et de l'humérus ont été appliquées à Regourdou 1 par Vandermeersh et Trinkaus (1995). L'estimation de la stature donne une valeur de 166,4 cm. Ces formules ont été recalculées (Cleuvenot et Houët 1993) et nous avons intégré les dimensions de l'humérus et du radius droit de Regourdou 1 (Vandermeersch et Trinkaus 1995) à ces nouvelles équations (Tableau 5). La stature estimée est d'environ 164 cm (±5 cm).

Par ailleurs, la circonférence de l'humérus et du radius permettent, grâce aux formules développées par S. Hartwig-Scherrer (1993), permet d'estimer la masse corporelle de Regourdou 1 (Tableau 5). La masse calculée à partir de l'humérus est de 52 kg et celle estimée à partir du radius de 46,2 kg. La corrélation étant bien meilleure pour l'humérus (r=0,81) que pour le radius (r=0,67), une masse corporelle de 52 kg nous semble plus probable.

Un poids de 165 cm et une masse de 52 kg correspondent à un indice de masse corporelle de 19.1, soit à la limite corpulence normale/maigreur. Ce résultat ne correspond pas aux

données sur les Néandertaliens, considérés comme des individus robustes (Maureille 2007). Il convient donc de rester prudent face à ces chiffres et face aux équations que nous avons utilisées.

Tableau 5. Estimation de la stature et de la masse corporelle de Regourdou 1

Longueur maximale (mm)		Méthode utilisée	Stature estimée (cm)
Humérus	310,0	Formules de Trotter et Gleser (1952) retravaillées par Cleuvenot et Houët (1993) pour un échantillon euro-américain	163,5 ±4,83
Radius	232,0		164,93 ±5,0

Circonférence de la diaphyse (mm)		Méthode utilisée	Masse estimée (kg)
Humérus	65,0	Formules de Hartwig-Scherrer (1993)	52,0 ±4,7
Radius	39,8		46,2 ±5,1

Les données sur la construction des équations sont disponibles dans les publications de référence.

c. Traits néandertaliens

Regourdou 1 est un individu massif, dont les insertions musculaires sont fortes (Bonifay *et al.* 2007). Il présente de nombreux traits autapomorphes néandertaliens :

La mandibule possède une mosaïque de caractères, comme le triangle mentonnier (caractéristique des Hommes anatomiquement modernes) associé à deux torus en face postérieure. Piveteau (1963 ; 1964) a mis en évidence des cavités pulpaires vastes au niveau des molaires, ce qui est à rapprocher du taurodontisme, caractère fréquemment observé sur les dents néandertaliennes (Mann et Vandermeersch 1997 ; Mussini 2011).

La morphologie du sternum (corps sternal allongé et étroit, long manubrium) est très différente de ce qu'on retrouve chez l'Homme anatomiquement moderne (Vallois et De Félice 1976). La cage thoracique est large, comme le prouveraient la largeur et l'épaisseur marquées des premières côtes (Couture 2008) ainsi que la longueur de la clavicule (Vandermeersch et Trinkaus 1995).

Les os du membre supérieur sont très robustes et présentent les caractères propres aux Néandertaliens ouest-européens, comme par exemple la tubérosité deltoïdienne étroite ou la courbure diaphysaire latérale du radius marquée (Vandermeersch et Trinkaus 1995 ; Couture

2008), mais aussi des épiphyses plus volumineuses et aux vastes surfaces articulaires ainsi que des phalanges distales larges et aplaties (Couture 2008).

Le membre inférieur, très incomplet avant 2008 n'a pas été l'objet d'étude. On a pu y observer certains traits typiques des néandertaliens, comme la présence de deux surfaces articulaires équivalente sur la patella (Trinkaus 2000 ; Couture 2008) ou la brièveté du col et l'élargissement de la trochlée talaire (Gambier 1982).

Le squelette de Regourdou 1 est très probablement celui d'une jeune adulte néandertalien, de sexe indéterminé. Comme l'ont déjà souligné plusieurs auteurs (Vandermeersch et Trinkaus 1995 ; Bonifay *et al.* 2007 ; Couture 2008), cet individu est parmi ceux pouvant nous apporter le plus d'informations sur la morphologie des Néandertaliens ouest-européens. De plus, sa ceinture pelvienne est maintenant parmi les mieux conservées des Néandertaliens européens (Meyer *et al.* 2011a). Deux fragments d'ilium, articulés avec le sacrum, l'ischium droit ainsi que deux fragments d'ischium gauche et un fragment de pubis droit composent cette ceinture. Sa description détaillée est l'objet de la partie IV.1.

Les restes pelviens de Regourdou 1 ont été scannés au service de radiologie de la clinique Tivoli, à Bordeaux, grâce à un scanner hélicoïdal, LightSpeed pro 32 ©, dont les principales caractéristiques sont un temps de rotation de l'hélice de 1 seconde, un pas de l'hélice de 0,5131 mm par rotation, une tension et une puissance de respectivement 140 kV et 435 mA. L'épaisseur des coupes est de 0,625 mm et l'intervalle entre celles-ci est de 0,5 mm. La dose reçue par les restes de Regourdou 1 est de 5329 mGy/cm. Cela a permis la reconstruction de cette ceinture pelvienne, présentée en partie IV.2.

II.2.3. Autres spécimens néandertaliens

II.2.3.1. Feldhofer 1

L'individu Feldhofer 1 (anciennement désigné comme Neandertal 1) est l'holotype de l'espèce *Homo neanderthalensis*. Il a été découvert en Allemagne en 1856. Les restes humains

sont datés d'environ 40 000 ans BC (Schmitz *et al.* 2002). Sa ceinture pelvienne est représentée par le coxal gauche auquel il ne manque que le pubis (Schaaffhausen 1888). De récentes campagnes de fouille ont permis la découverte de nouveaux fragments pelviens, dont l'appartenance à l'individu Feldhofer 1 est incertaine : un fragment d'ischium droit, qui présente une partie de la tubérosité ischiatique, un fragment de sacrum (le processus articulaire gauche de S5) et un fragment d'acétabulum dont la latéralisation à droite n'est pas vérifiable (Schmitz *et al.* 2002). Parmi ces restes, le fragment d'ischium, qui présente des dimensions équivalentes aux dimensions de Feldhofer 1, est le plus probablement associé à cet individu (Schmitz *et al.* 2002). Nous avons pu observer et mesurer le moulage (tel que connu avant les nouvelles fouilles) de ce coxal au sein de l'UMR PACEA.

II.2.3.2. La-Chapelle-aux-Saints 1

L'individu de la Chapelle-aux-Saints a été découvert en 1908, en France. Il a été précédemment daté de 47 000 ± 3000 à 56 000 ± 4000 ans BP (Grün et Stringer 1991) ; date non recevable au regard de la nouvelle compréhension du site (Beauval *et al.* 2007). Sa ceinture pelvienne est composée du coxal gauche fragmenté et de la partie proximale du sacrum (Boule 1912). Un ilium droit complet aujourd'hui manquant (Trinkaus 2011) est présent uniquement sous forme de moulages. Le coxal gauche est représenté par la base de l'aile, l'acétabulum et la tubérosité. L'os est puissant, assez grand et présente des atteintes pathologiques qu'on retrouve sur l'ensemble du squelette. Le sacrum est représenté par une partie de la première vertèbre sacrée. Aucune reconstruction du bassin de La-Chapelle-aux-Saints 1 n'a été proposée depuis la restauration de Boule (Boule 1912 ; Trinkaus 2011). Celle-ci, et notamment sa position érigée incomplète, a été l'objet de nombreuses critiques (Trinkaus 1985a). Au cours de ce travail, nous avons pu étudier l'original, conservé au Musée de l'Homme, à Paris.

II.2.3.3. La Ferrassie 1 et 2

Le site de La Ferrassie a été découvert en 1909, en France. Les datations proposées aujourd'hui sont très incertaines (Maureille et Tillier 2008). L'industrie lithique (débitage Levallois très soigné) permet de proposer l'hypothèse d'une datation à la fin de l'OIS 5 sans que cela ait pu être vérifié (Turq *et al.* 2008).

La ceinture pelvienne de La Ferrassie 1 est composée des os coxaux droits et gauches et du sacrum fragmentés (Heim 1982b). Le sacrum est très écrasé. Le coxal gauche est représenté par un fragment d'ischium (acétabulum et tubérosité), de pubis et la base de l'ilium. Le coxal droit est représenté par des fragments d'ischium et de pubis. La reconstruction des coxaux de la Ferrassie 1 a été faite par J.-L. Heim après sa découverte et jamais retravaillée depuis. Lors de notre visite au Museum National d'Histoire Naturelle, nous avons pu observer que cette reconstruction présente quelques erreurs anatomiques, visibles notamment dans l'orientation des acétabulum antérieurement et non latéralement, une fois les deux pubis mis en connexion. Les restes pelviens de La Ferrassie 2 sont composés des coxaux droits et gauches très incomplets associés à des restes isolés (Heim 1982b). Le coxal droit est représenté par des fragments de l'aile et la partie ischiatique de l'acétabulum. Différents fragments d'ailes, associés à des fragments de l'acétabulum (parties ischiatiques et postérieures) composent le coxal gauche. Les originaux, que nous avons eu l'occasion d'étudier, sont conservés au Musée de l'Homme, à Paris.

II.2.3.4. Subalyuk 1

Les restes humains de Subalyuk ont été découverts dans le nord de la Hongrie en 1932 et sont datés du Würm ancien (Oakley *et al.* 1971). La ceinture pelvienne est uniquement représentée par le sacrum, dont les trois premières vertèbres sont bien conservées (Pap *et al.* 1996). Il nous a été donné l'occasion d'observer le moulage de ce sacrum au sein du laboratoire PACEA-équipe A3P.

II.2.3.5. Tabun C1

Découvert en Israël entre 1929 et 1934, l'individu Tabun C1 est daté d'entre 112 000 ± 29 000 ans et 143 370 ± 37 000 ans (Grün et Stringer 2000). Divers fragments des coxaux droit et gauche composent les restes de la ceinture pelvienne (McCown et Keith 1939). Le coxal gauche (Figure 20) est représenté par un fragment d'aile iliaque (avec les épines iliaques antérieures) et un fragment de pubis associé à l'acétabulum dans lequel est encore prise la tête fémorale. Le coxal droit (Figure 20) est représenté par un fragment de pubis (branche supérieure et symphyse) et un fragment d'ischium, associé à l'acétabulum et la base de l'ilium. Le fémur est pris dans le même sédiment que l'acétabulum. La ceinture pelvienne de Tabun C1 a fait, on l'a vu, l'objet de reconstructions virtuelles (Ponce de León *et al.* 2008 ; Weaver et Hublin 2009). C'est à ce jour le seul bassin Néandertalien ayant fait l'objet d'une telle reconstruction.

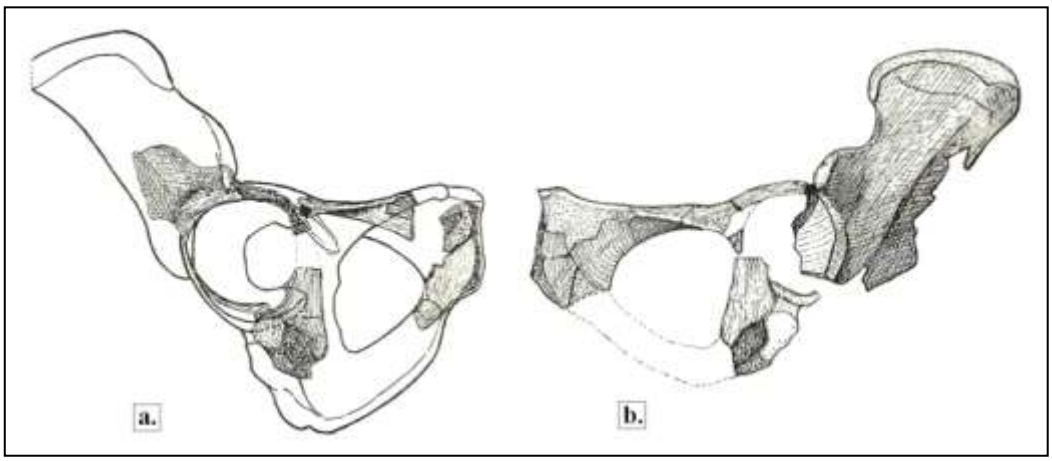


Figure 20. Les fragments d'os coxaux de Tabun C1.
a. Coxal droit ; b. Coxal gauche. D'après McCown et Keith, 1939.

L'original est conservé au laboratoire de paléontologie du Natural History Museum, à Londres, où nous avons pu l'observer. La reconstruction effectuée par Weaver et Hublin (2009) est téléchargeable gratuitement en format *.ply* sur le site du Max Planck Institut[23] (Figure 21). Ce spécimen virtuel étant déjà une reconstruction, nous avons préféré ne pas l'utiliser pour la reconstruction en elle-même afin de ne pas additionner les erreurs

[23] (http://www.eva.mpg.de/evolution/files/downloads.htm)

d'estimation, mais nous l'avons inséré à notre matériel de comparaison virtuelle dans le cadre de notre analyse obstétricale.

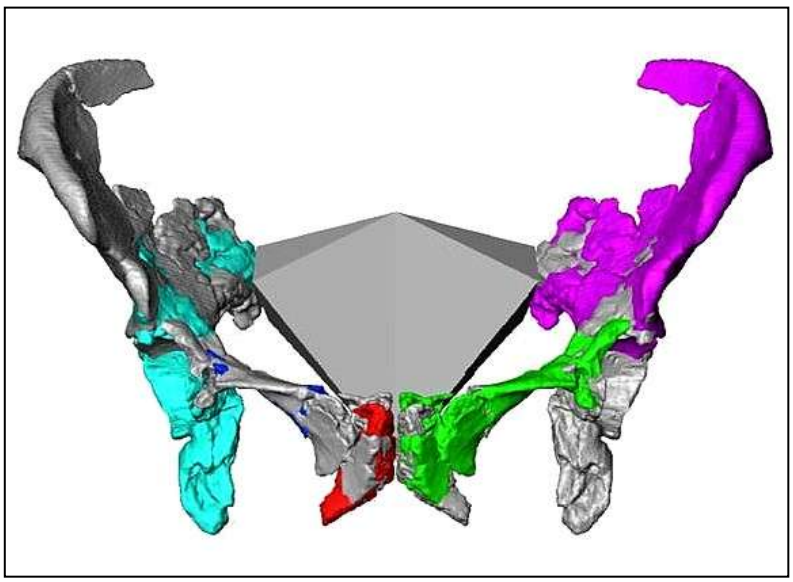


Figure 21. La reconstruction virtuelle du bassin de Tabun C1.
D'après Weaver et Hublin, 2009.

II.2.3.6. Kebara 2

Les restes de Kebara 2 ont été mis au jour en Israël en 1983 et sont datés entre 59 990 ± 3 500 ans et 64 300 ± 5 500 ans (Valladas *et al.* 1987). Sa ceinture pelvienne (Figure 22) est représentée par le sacrum, presque complet, le coxal droit complet et le coxal gauche auquel il manque le pubis (Rak 1991b). Nous avons pu l'observer et le mesurer au sein de l'UMR PACEA-équipe A3P où un moulage est conservé. Par ailleurs, nous avons aussi utilisé les CT-scans de ce bassin afin d'en réaliser une image virtuelle, utilisée dans le cadre de notre reconstruction. Ces scanners nous ont été prêtés par la Faculté de Médecine de Tel Aviv ; les paramètres de cette analyse sont inconnus.

II.2.3.7. Krapina 208, 209

Les restes de Krapina 208 et 209 ont été mis au jour en Croatie (alors au sein de l'Empire austro-hongrois) entre 1899 et 1905 (Radovcic *et al.* 1988) et sont datés d'environ 130 000 ans, ± 10 000 ans (Minugh-Purvis et Radovcic 2000). Krapina 208 est un fragment de coxal

droit, comportant principalement l'acétabulum, la tubérosité ischiatique et une partie de la branche supérieure du pubis. Le coxal Krapina 209 comprend l'acétabulum, la branche supérieure du pubis et la partie médiale de l'aile, avec notamment la grande incisure ischiatique et la surface auriculaire. Ces individus sont intégrés à notre échantillon sous la forme d'images virtuelles, obtenues grâce au programme NESPOS (www.nespos.org).

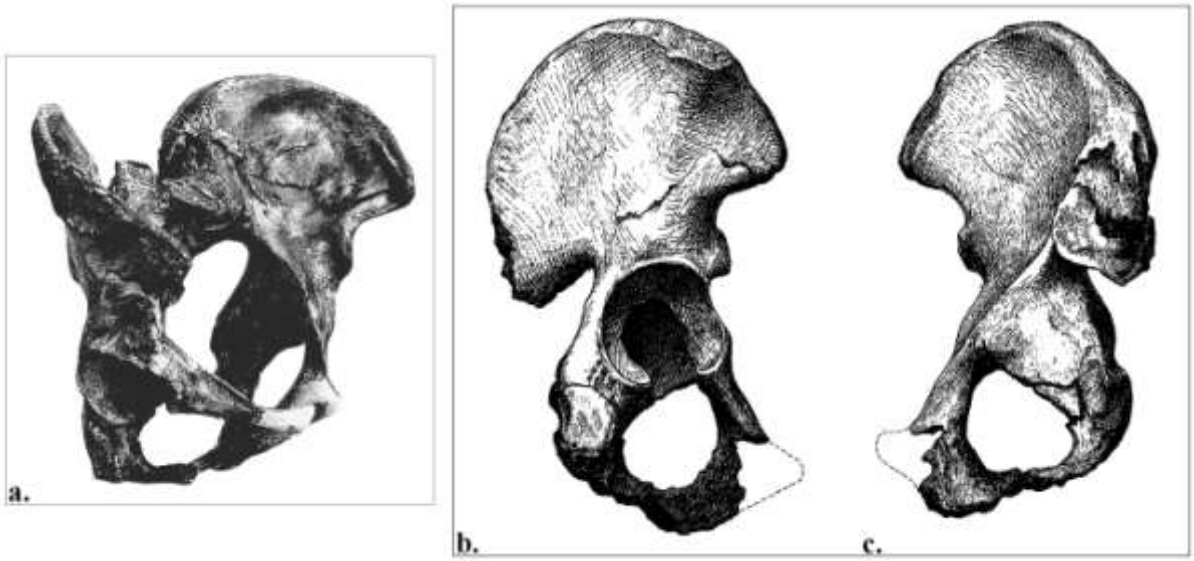


Figure 22. La ceinture pelvienne de Kebara 2.
a. bassin reconstruit par symétrie-miroir du coxal droit, vue antéro-latérale ; b. et c. coxal droit, face externe (b) et interne (c). D'après Rak, 1991.

L'ensemble des données concernant les autres bassins néandertaliens (Amud 1 et les individus de Shanidar, ou les données métriques concernant le sacrum de Spy 2) provient de la littérature (Endo et Kimura 1970 ; Trinkaus 1982, 1983, 2011).

III. Méthodes

III.1. Descriptions des restes pelviens de Regourdou 1

L'analyse morphométrique des restes de la ceinture pelvienne de Regourdou 1 représente la première étape de notre travail. Les descriptions morphologiques ont été établies par nous-mêmes et afin de ne laisser aucun doute sur l'identité de chaque structure observée, nous avons utilisé la nomenclature internationale (Kamina 1995 ; Soames 1995 ; Dauber 2007) et voir annexes, p.i.

Dans un premier temps, des points de repère ont été définis sur le bassin osseux. Ces points servent pour la définition des mesures pelvimétriques, mais aussi pour la reconstruction virtuelle du bassin et pour la définition des mesures obstétricales.

III.1.1. Définition des points de référence

Dans le cadre de cette étude, 56 points de référence (26 points pairs et 4 impairs) ont été définis (Figure 23).

III.1.1.1. Classification des points de repère[24]

Les points sont classés selon la classification de Bookstein (1991a), qui distingue trois types de points, en fonction de leur homologie. Récemment, une nouvelle classification a été proposée, intégrant aussi les *semilandmarks* (points de repère pris sur des surfaces ou des courbes, en l'absence de structure osseuse homologue) mais n'entrant pas en contradiction avec la précédente (Weber et Bookstein 2011, p. 180). La répétabilité et la reproductibilité du positionnement d'un point dépendent de la précision de sa description et de son homologie (Von Cramon-Taubadel *et al.* 2007) et donc de cette classification.

[24] Parfois aussi désignés par le terme anglais de *landmark*

Les points de repère de type I correspondent à la juxtaposition de différentes structures (comme par exemple, l'intersection entre les différents os du crâne, au niveau des sutures crâniennes). L'identification et la précision des points de type I sont ainsi facilitées par la présence de structures anatomiques bien précises.

Les points de repère de type II sont définis comme des maximums de courbure (comme le point le plus profond de la grande incisure ischiatique, par exemple, qui varie en fonction de l'orientation de l'os). Leur définition est locale. Parfois difficiles à identifier et très variables d'un individu à l'autre, les points de type II sont une source d'erreur plus importante que ceux de type I.

Les points de repère de type III équivalent à des extremums dans les différentes directions de l'espace, définis selon l'objet lui-même. Contrairement aux points de types II, la prise des points de type III nécessite donc une vision globale de l'objet dans l'espace virtuel. Si les points de type I et II correspondent à une réalité biologique (comme les points de type II, qu'on peut rapprocher des insertions musculaires), les point de type III sont purement géométriques.

III.1.1.2. Définition des points de repère

Les points sont numérotés de 1 à 30 ; dans le reste de l'étude ils seront désignés par ce numéro, précédé de LM (pour *landmark*) et suivi de la latéralisation, le cas échéant (Figure 23). Par exemple, le point de repère au sommet de l'épine iliaque antéro-inférieure gauche est le LM13G. Une analyse de l'erreur intra et inter-observateur lors de la localisation des points sur le bassin a été effectuée.

Pour chaque point sont donnés son type selon la classification de Bookstein [(I), (II) ou (III)], sa description et la référence associée. Les points ont été placés sur les surfaces 3D à l'aide du logiciel TIVMI® (Treatment and Increased Vision for Medical Imaging)[25], sur les bassins orientés dans le plan anatomique.

LM1 (III) : *promontorium* (Bräuer 1988). Point antéro-médial de l'arête du promontoire.

[25] TIVMI est disponible à l'adresse : http://www.pacea.u-bordeaux1.fr/TIVMI/

LM2 (III) : point antéro-médial de la ligne transverse entre la deuxième et la troisième vertèbres sacrées (Bouhallier *et al.* 2004).

LM3 (III) : point antéro-médial de la ligne transverse entre la quatrième et la cinquième vertèbres sacrées (Weaver 2002).

LM4 (III) : point antéro-médial de l'apex du sacrum (Weaver 2002).

LM5 (III) : point médial de la crête de l'aileron sacré, dans la continuité de la ligne arquée, défini dans le cadre de cette étude.

LM6 (I) : auriculaire (Derry 1923 ; Straus 1927 ; Segebarth-Orban 1979). Point de rencontre entre la surface auriculaire iliaque et la ligne arquée. Il ne faut pas confondre ce point avec le scalénion (Rickenmann 1957) situé plus haut sur la surface auriculaire.

LM7 (III) : point le plus postéro-supérieur de la surface auriculaire iliaque (Weaver 2002).

LM8 (I) : point de rencontre entre la zone inférieure de la surface auriculaire et la grande incisure ischiatique (Weaver 2002), défini par Bruzek comme le point A de la grande incisure sciatique en l'absence du tubercule piriforme (Bruzek 2002).

LM9 (II) : *iliospinale posterius* (Bräuer 1988). Sommet de l'épine iliaque postéro-supérieure.

LM10 (III) : *iliocristale* (Bräuer 1988). Point d'inflexion du bord postérieur de la tubérosité iliaque.

LM11 (II) : projection de LM10 sur la face interne de la tubérosité iliaque.

LM12 (II) : *iliospinale anteriorus* (Bräuer 1988). Sommet de l'épine iliaque antéro-supérieure.

LM13 (II) : *médio-spinale* (Gaillard 1960). Sommet de l'épine iliaque antéro-inférieure.

LM14 (III) : point de courbure maximale de la grande incisure ischiatique (Weaver 2002) défini par Bruzek (2002) comme le point le plus profond de la grande incisure ischiatique par rapport à l'épine iliaque antéro-inférieur.

LM15 (II) : sommet de l'épine sciatique (Segebarth-Orban 1979 ; Weaver 2002) ; dans le cas d'une épine non pyramidale, prendre le point au centre de la zone d'insertion musculaire de l'épine.

LM16 (III) : point de courbure maximale de la ligne arquée (Weaver 2002).

LM17 (I) : *symphysion* (Bräuer 1988). Point supérieur de la bordure dorsale de la surface articulaire de la symphyse pubienne. Ce point est aussi utilisé par Berge et Goularas (2010), sous le numéro 11.

LM18 (I) : point médial du bord dorsal de la symphyse (Van Sint Jan 2007). Ce point est aussi utilisé par Berge et Goularas (2010), sous le numéro 12.

LM19 (II) : point inférieur du bord dorsal de la symphyse (Bouhallier *et al.* 2004). Ce point est aussi utilisé par Berge et Goularas (2010), sous le numéro 13.

LM20 (III) : sommet du tubercule obturé antérieur ou, en son absence, centre du bord antérieur du foramen obturé, point défini dans cette étude.

LM21 (II) : sommet du tubercule pubien (Van Sint Jan 2007).

LM22 (III) : centre du sillon obturateur en vue inférieure (Weaver 2002).

LM23 (III) : sommet du tubercule obturé postérieur ou, en son absence, centre du bord postérieur du foramen obturé (Weaver 2002).

LM24 (II) : point le plus proéminent de l'éminence ilio-pectinée ou éminence ilio-pubienne (Bouhallier *et al.* 2004).

LM25 (I) : point le plus antérieur de la tubérosité ischiatique (Weaver 2002).

LM26 (II) : point le plus postérieur de la tubérosité ischiatique (Bouhallier *et al.* 2004).

LM27 (III) : point d'intersection entre la crête médiale et l'insertion transverse sur la tubérosité ischiatique (Weaver 2002).

LM28 (III) : point d'inflexion du bord acétabulaire inférieur (Weaver 2002).

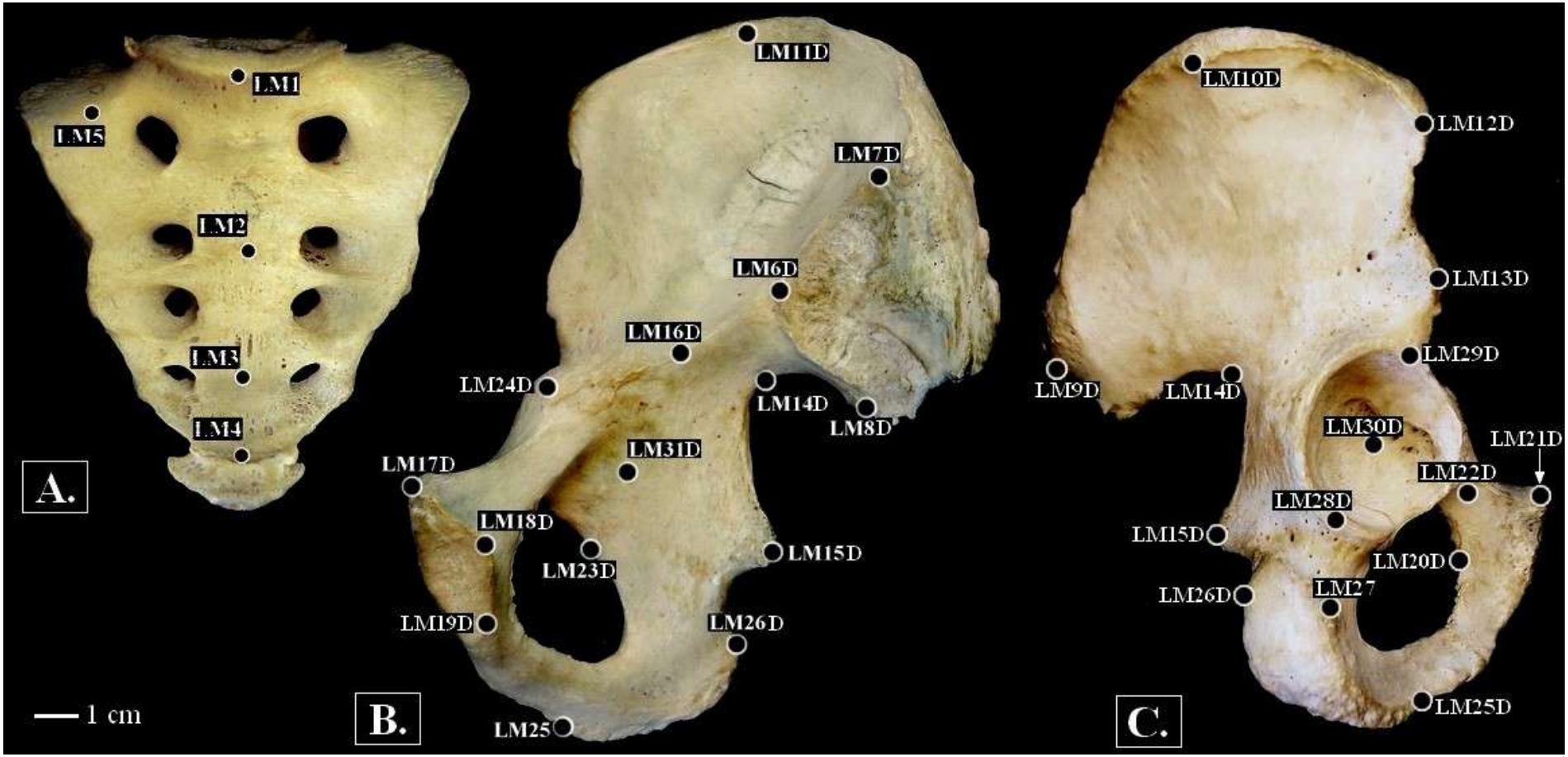


Figure 23. Localisation des points de repères utilisés dans ce travail.

A. Sacrum ; Coxal droit, B. vue interne, C. vue externe.

LM29 (III) : point sur le bord acétabulaire supérieur, le plus éloigné du LM28, situé à proximité de l'épine iliaque antéro-inférieure (Weaver 2002).

LM30 (III) : centre de l'acétabulum (Schmidt 1888 ; Segebarth-Orban 1979 ; Berge *et al.* 1984), à ne pas confondre avec le point ilio-ischio-pubien [point A (Schultz 1930 ; Genoves 1954 ; Orban-Segebarth 1984)]. La prise de ce point dans le cadre de notre étude a été rendue difficile par la présence de la tête fémorale dans la cavité acétabulaire dans notre échantillon virtuel ; il a été construit mathématiquement à partir du tracé du rebord acétabulaire. Ce point sert essentiellement à la construction du point 31.

LM31 (III) : projection du centre de l'acétabulum sur la face interne (Bouhallier *et al.* 2004). Point construit par TIVMI®, comme étant le projeté orthogonal du LM30 sur la surface quadrilatère représentée par un plan. Ce plan est calculé comme étant le plan moyen le plus proche de la surface quadrilatère.

La répétabilité et la reproductibilité de la prise de chacun des points ont été testées. Pour cela, nous avons suivi les consignes du *Guide to the expression of Uncertainty in Measurement* (Jcgm100 2008).

Chacun de ces points a été pris à cinq reprises sur cinq bassins par nos soins ; puis à deux reprises par cinq observateurs différents sur les mêmes bassins. Le centroïde (ou barycentre) des différentes prises, puis la dispersion (ou distance au centroïde) de chacune des prises ont été calculées. Pour chaque point, la moyenne de ces dispersions est proposée, elle représente l'incertitude, inter et intra-observateur. Cette analyse a été faite grâce au logiciel R 2.13.1 [R Developpement Core Team 2011 (Ihaka et Gentleman 1996)].

III.1.1.3. Les points de repère disponibles sur Regourdou 1

Sur les 58 points décrits, seuls vingt points peuvent être pris sur les restes de la ceinture pelvienne de Regourdou 1 (Tableau 6). Ces points concernent en majorité la partie supéro-postérieure du canal pelvien. La région sacro-iliaque est en effet bien documentée.

Tableau 6. Liste des points de repère présents sur les restes de la ceinture pelvienne de Regourdou 1.

Point de repère	Regourdou 1	
	Droite	Gauche
LM1	•	
LM2	•	
LM3		
LM4		
LM5	•	•
LM6	•	•
LM7	•	•
LM8	•	
LM9	•	
LM10		
LM11		
LM12		
LM13	•	
LM14	•	•
LM15		
LM16	•	•

Point de repère	Regourdou 1	
	Droite	Gauche
LM17		
LM18		
LM19		
LM20		
LM21		
LM22		
LM23		
LM24		
LM25	•	
LM26	•	
LM27	•	
LM28	•	
LM29	•	
LM30		
LM31		

Lors d'une première observation des restes pelviens de Regourdou 1, nous avons noté que, d'une part le bassin Regourdou 1 est petit par rapport à un bassin moderne et que, d'autre part, certaines structures anatomiques se distinguent de la morphologie moderne, par leur robustesse, par leur épaisseur ou au contraire par leur étroitesse. Nous avons donc défini des variables (mesures linéaires et indices) pour quantifier ces différences. S'est alors posé le problème de la conservation des restes pelviens de Regourdou 1. En effet, le bassin est fragmenté et incomplet, peu de dimensions référencées [notamment celles définies par Martin (Bräuer 1988)] sont mesurables. Nous avons donc fait le choix de définir de nouvelles mesures, grâce aux points de repère présentés ci-dessus.

III.1.2. Variables métriques (dimensions linéaires et indices)

Les mesures ont été prises sur le sacrum (n=6) et le coxal (n=13) (Figure 25). Certaines d'entre elles correspondent à des mesures déjà connues (Schultz 1930 ; Gaillard 1960 ;

Bräuer 1988) et nous en avons proposées d'autres. Elles ont toutes été prises avec un pied à coulisse électronique (précision de 0,1 mm).

III.1.2.1. Définition des mesures

Parmi ces mesures, très peu ont été directement prises sur des coxaux ou des sacrums néandertaliens. Par exemple, nous n'avons aucune mesure correspondant à celles prises sur le bassin de Tabun C1, lors de sa description (McCown et Keith 1939). Le cas échéant, nous avons cité les références prenant en compte la mesure décrite. Cette faiblesse de l'échantillon de comparaison dans la littérature met en évidence la nécessité d'une observation directe.

Sur le coxal (Figure 24)

Hauteur de la surface lunaire (HSL) : distance entre le point de repère LM9 (situé à l'intersection du rebord du facies lunaire et de la racine de l'épine iliaque antéro-inférieure) et le point le plus éloigné sur l'autre côté du faciès lunaire, dans l'axe du diamètre acétabulaire.

Épaisseur de l'épine iliaque antéro-inférieure (EpEIAI): distance maximale entre les faces interne et externe de l'épine, prise perpendiculairement à son grand axe.

Hauteur de l'épine iliaque antéro-inférieure (HaEIAI): longueur maximum de l'épine, prise dans le grand axe de celle-ci, perpendiculairement à son épaisseur.

Épaisseur de l'os à la ligne arquée (EpLA) : épaisseur maximale de l'os au niveau de la ligne arquée (le pied à coulisse doit être dans la grande incisure ischiatique et dans un plan perpendiculaire au plan de l'aile iliaque). Cette variable est l'équivalent de la mesure 23 (*thickness of arcuate line at sciatic notch*) selon Rak (1991b) ou de la mesure K (*thickness of arcuate butress*) selon Endo et Kimura (1970).

Longueur du bras horizontal (ou cranial) de la surface auriculaire (LHSA) : distance maximale entre le point le plus postérieur de l'extrémité postérieure du bras horizontal (point de repère LM7), et le projeté de ce point sur la bordure antérieure du bras vertical. Cette

mesure doit être prise dans l'axe du bras horizontal. Contrairement à la mesure définie par Ali et Maclaughlin (1991), cette longueur ne passe pas par le point auriculaire.

V6. Longueur du bras vertical (ou caudal) de la surface auriculaire (LVSA) : distance maximale entre le point le plus postéro-inférieur de l'extrémité inférieure du bras vertical et le projeté de ce point sur la bordure postérieure du bras horizontal, prise dans l'axe du bras vertical. Attention, cette mesure ne passe pas par le point de repère LM8. Deux mesures ont été prises au niveau de la surface auriculaire par Boule (Boule 1912), une « plus grande longueur […] verticale » et une « plus grande largeur […] horizontale » (p. 131). En absence de schéma, nous ne pouvons confirmer qu'elles sont équivalentes à LHSA et LVSA.

V7. Épaisseur de l'ilium au niveau de la surface auriculaire (EpSA) : épaisseur maximale de l'os au niveau de la surface auriculaire. Le pied à coulisse doit être dans un plan perpendiculaire au plan de l'aile iliaque.

V8. Longueur spino-sciatique (SS), (Gaillard 1960) : distance entre le sommet de l'épine iliaque antéro-inférieure et le point le plus profond de la grand incisure ischiatique.

V9. Longueur spino-auriculaire (SA) (Gaillard 1960) : distance entre le somment de l'épine iliaque antéro-inférieure et le point d'intersection de la ligne arquée et de la surface auriculaire (point auriculaire).

V10. Longueur de la tubérosité ischiatique (LoTI) : distance maximale entre le point le plus antérieur et le point le plus postérieur de la tubérosité ischiatique.

V11. Largeur de la tubérosité ischiatique (LaTI) : distance maximale entre le bord interne et le bord externe de la tubérosité ischiatique, mesurée perpendiculairement à l'axe de la tubérosité. Cette mesure est utilisée (sans précision sur sa définition) par Heim (1982b) dans sa description des coxaux adultes de La Ferrassie ou par Boule (1912) dans sa description du coxal de La-Chapelle-aux-Saints 1.

V12. Largeur cotylo-sciatique (SIS), [M.14.1 (Bräuer 1988)] ou puissance de l'ischium (Sauter et Privat 1954 ; Gaillard 1960) : distance entre le rebord postérieur de l'acétabulum et le bras inférieur de la grande incisure ischiatique au milieu de la surface rétro-acétabulaire. Les branches du pied à coulisse doivent être bien perpendiculaires au plan de cette surface.

Cette variable est peut-être l'équivalent de la mesure 19 (distance from acetabulum to sciatic notch) prise par Rak (1991b) sur Kebara 2. Mais en l'absence d'un schéma, nous ne pouvons l'affirmer avec certitude. C'est l'équivalent de la mesure « acetabulosciatic breath » utilisée par Trinkaus (1983), d'après Olivier (1960).

V13. Longueur anatomique de l'ischium (LAI) : distance entre le point de repère LM30 (centre de l'acétabulum) et le point de repère LM25 (extrémité antérieure de la tubérosité ischiatique). Mesure définie par Leutenegger (1970), inspirée de la longueur anatomique de l'ischium définie par Schultz (Schultz 1930) à partir du point A (Berge 1980). Elle correspond à peu près à la longueur de l'ischium telle qu'elle est prise par Heim (Heim 1982b) sur le coxal de La Ferrassie 1.

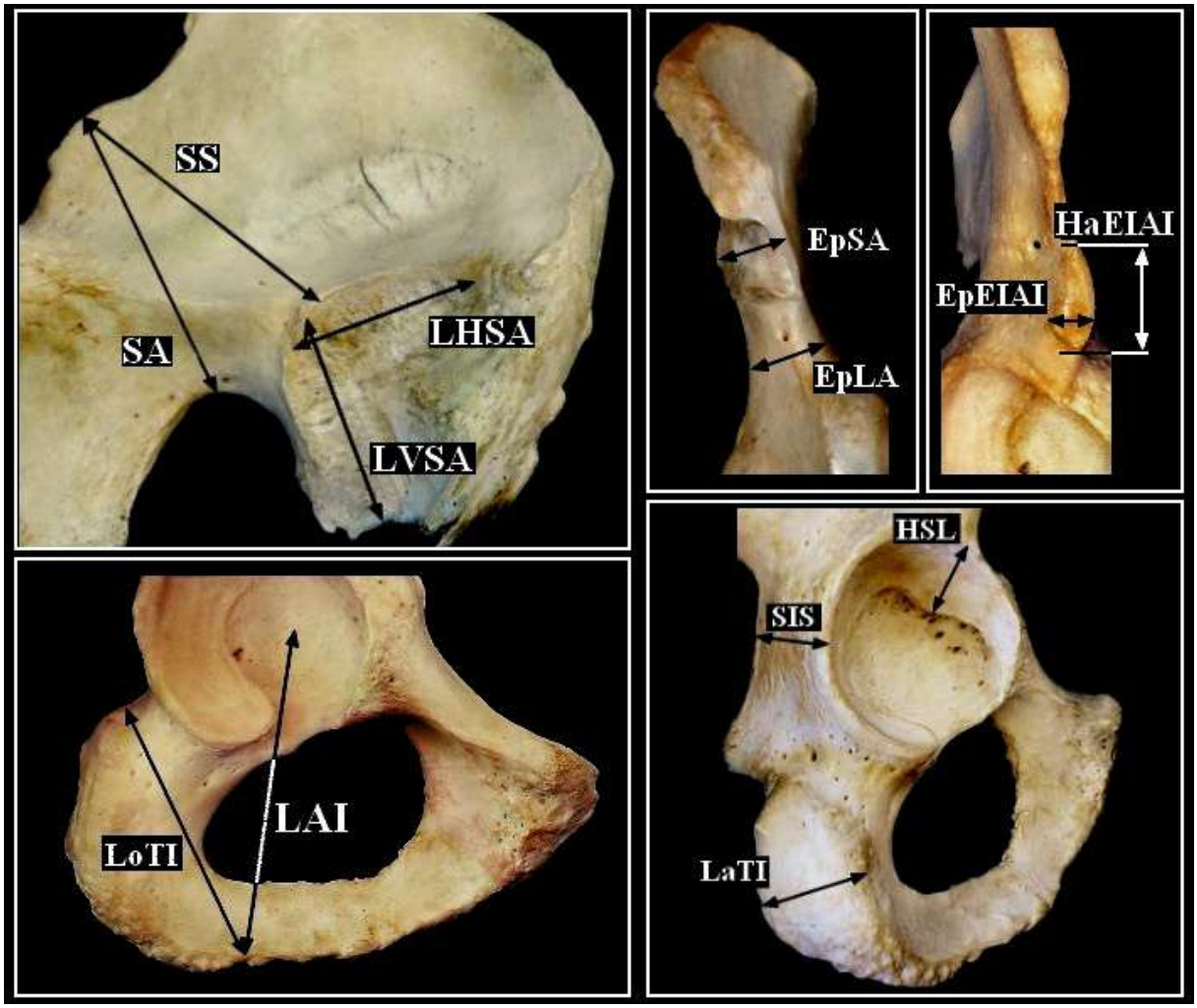


Figure 24. Mesures définies sur le coxal.

Sur le sacrum (Figure 25)

V14. Largeur du sacrum (LS), M.5 (Bräuer 1988): Distance entre les deux points les plus latéraux des ailerons sacrés. Elle est prise par Rak (1991b) sur le sacrum de Kebara 2, sous le numéro 26.

V15. Largeur de l'aileron droit (LAD) : distance entre le milieu de la surface articulaire vertébrale et le point de l'aileron droit le plus latéralement situé sur une ligne passant par le centre de la surface articulaire du corps de la première vertèbre sacrée (S1). Le pied à coulisse doit être dans le même plan que cette surface.

V16. Largeur de l'aileron gauche (LAG) : distance entre le milieu de la surface articulaire vertébrale et le point le plus latéral de l'aileron gauche.

V17. Diamètre transversal du corps de S1 (DTC), M.19 (Bräuer 1988 ; Baptist *et al.* 2008) : diamètre maximal de la surface articulaire vertébrale, dans l'axe transversal du corps. Elle est prise par Rak (1991b) sur le sacrum de Kebara 2, sous le numéro 28.

V18. Diamètre antéro-postérieur du corps de S1 (DAPC), M.18 (Bräuer 1988) ; (Baptist *et al.* 2008) : distance entre le point de repère LM1 (point médial du bord antérieur) et son projeté sur le bord postérieur du corps de la première vertèbre sacrée. Elle est prise par Rak (1991b) sur le sacrum de Kebara 2, sous le numéro 29.

V19. Hauteur de la surface auriculaire sacrée (HSAS), M.14 (Bräuer 1988 ; Baptist *et al.* 2008) : distance maximale entre les points le plus inférieur et le plus supérieur de la surface auriculaire sacrée droite (Baptist *et al.* 2008). S'il n'est pas possible de prendre cette mesure à droite, on peut la prendre à gauche (en le précisant). Elle est prise par Rak (1991b) sur le sacrum de Kebara 2, sous le numéro 30.

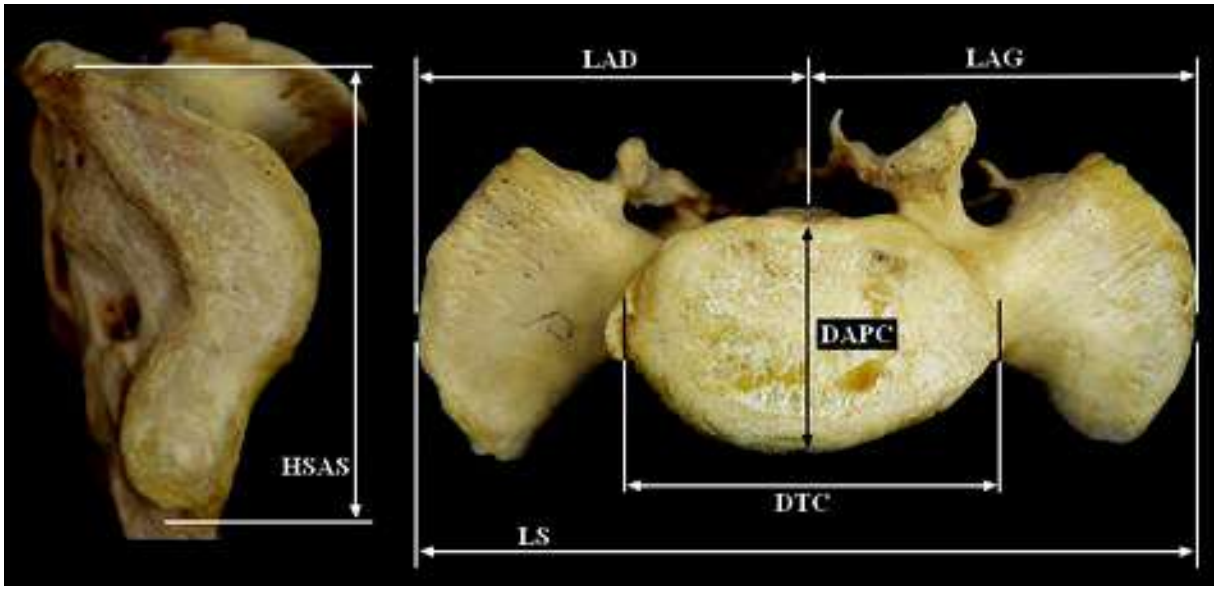


Figure 25. Mesures prises sur le sacrum.

III.1.1.2. Définition des indices

À partir de ces mesures, différents nouveaux indices ont été définis. La mise en rapport de deux variables permet de les relativiser ; l'utilisation d'indice est ainsi un moyen de diminuer de façon élémentaire l'influence générale de la taille.

Indice de massivité de l'épine iliaque antéro-inférieure, $I_{épine} = \frac{EpEIAI}{HaEIAI} \times 100.$ Plus ce rapport est élevé, plus l'épine est massive.

Indice de position du sacrum, $I_{ss\text{-}sa} = \frac{SS}{SA} \times 100.$ Ce rapport fréquemment utilisé en anthropologie biologique, apporte des informations sur la position du sacrum. Dans le cadre de la détermination sexuelle, la soustraction des longueurs spino-sciatique et spino-auriculaire nous informe sur la morphologie de l'ilium et du canal pelvien (Gaillard 1960 ; Murail *et al.* 2005).

Indice de massivité de la tubérosité ischiatique, $I_{ti} = \frac{LoTI}{LaTI} \times 100.$ Ce rapport permet d'évaluer la morphologie de la tubérosité ischiatique et particulièrement sa massivité.

Indice de massivité de l'ischium, $I_{isch} = \frac{SIS}{LAI} \times 100$. Lors d'une première observation, nous avons pu constater que chez Regourdou 1 et chez d'autres spécimens néandertaliens (Kebara 2, Feldhofer 1), la largeur cotylo-sciatique semble plus faible que chez l'Homme anatomiquement moderne. Afin de pouvoir quantifier cette différence, nous avons rapporté cette variable sur la longueur de l'ischium.

Indice de taille de la tubérosité, $I_{ti\text{-}i} = \frac{LoTI}{LAI} \times 100$. Ce rapport évalue la taille de la tubérosité ischiatique par rapport à celle de l'ischium.

Indice de robustesse du coxal, $I_{la\text{-}i} = \frac{EpLA}{SIS} \times 100$. En comparant deux variables qui traduisent la robustesse, ce rapport permet d'évaluer la robustesse relative de deux régions anatomiques, l'ilium et l'ischium.

Indice de taille de l'aileron droit, $I_{ad} = \frac{LAD}{LS} \times 100$. Ce rapport évalue la taille de l'aileron droit par rapport à la taille du sacrum.

Indice de taille de l'aileron gauche, $I_{ag} = \frac{LAG}{LS} \times 100$. Ce rapport évalue la taille de l'aileron gauche par rapport à la taille du sacrum.

Indice d'asymétrie des ailerons, $I_{adag} = \frac{LAD}{LAG} \times 100$. Ce rapport compare la longueur des deux ailerons et permet de mettre en avant une asymétrie de taille.

Indice de taille du corps vertébral, $I_{sv} = \frac{DTC}{LS} \times 100$. Ce rapport évalue la taille de la surface vertébrale par rapport à la taille du sacrum.

Indice du corps vertébral, $I_c = \frac{DTC}{DAPC} \times 100$. Ce rapport évalue la morphologie du corps vertébral de la première vertèbre sacrée.

III.1.1.3. Erreur inter et intra-observateur

Pour toutes les dimensions linéaires, une analyse de l'erreur inter et intra-observateur a été faite. Nous avons suivi les consignes du *Guide to the expression of Uncertainty in Measurement* (Jcgm100 2008). Cette incertitude est évaluée suivant deux protocoles. L'ensemble des mesures définies ci-dessus a été pris à cinq reprises sur cinq coxaux et cinq sacrums par nos soins. Dans un second temps, ces mêmes mesures ont été prises par cinq observateurs différents sur les mêmes coxaux et sacrums.

La dispersion de chacune des mesures par rapport au centroïde (ou barycentre) de l'ensemble des résultats a été évaluée. Pour chaque variable, la moyenne de ces dispersions est proposée, elle représente l'incertitude, inter et intra observateur. Cette analyse, ainsi que les analyses statistiques suivantes, ont été, sauf mention contraire, faite grâce au logiciel R 2.13.1 (R Developpement Core Team 2011) ; (Ihaka et Gentleman 1996).

Nous avons aussi calculé le coefficient de variation ($= \frac{moyenne}{écart-type}$) de chacune de ces variables. Ce coefficient calcule la dispersion relative de l'échantillon et permet donc d'évaluer l'homogénéité des mesures d'une même dimension. Par exemple, si une mesure est 5 mm plus grande que les quatre autres, le coefficient de variation le met en avant. Il est donc proposé ici en complément de l'erreur inter et intra-observateur. Couramment, on considère que pour qu'une mesure soit considérée comme homogène, le coefficient de variation doit être inférieur ou égal à 0,15.

III.1.3. Description des outils statistiques

La morphologie générale du bassin néandertalien ne s'éloigne pas de la morphologie moderne. Toutefois, de précédentes études et nos observations préliminaires ont montré qu'il existe certains traits morphologiques permettant de les distinguer. Nous avons voulu, à travers une analyse statistique des mesures définies ci-dessus, quantifier certaines de ces différences. Nous émettons l'hypothèse que, si globalement le bassin néandertalien (et plus précisément Regourdou 1) n'est pas significativement différent d'un bassin moderne, il présente certains traits caractéristiques.

Le choix des tests à appliquer à notre échantillon peut s'avérer difficile, car on veut ici comparer un individu isolé à un groupe. L'emploi de tests paramétriques n'est pas compatible avec une telle étude (Daudin *et al.* 1999), on privilégie dans ces cas l'analyse multivariée, comme l'analyse en composante principale (Berge 1984, 1991c ; Arsuaga et Carretero 1994 ; Van Vark 1994 ; L'engle Williams et Orban 2007). Toutefois, certaines adaptations des tests paramétriques classiques permettent de les utiliser dans le cadre de notre étude, c'est le cas de l'analyse de la distance probabiliste, très utile en paléoanthropologie, car elle pallie le problème de la rareté des données (Maureille *et al.* 2001).

III.1.3.1. Distance probabiliste

Cette méthode (Houët in Maureille *et al.* 2001 ; Santos in Scolan *et al.* 2012) est inspirée du calcul du Z-score (variable qui permet de situer une observation par rapport à une loi normale). On teste ici l'éloignement d'un sujet par rapport à la distribution estimée d'un échantillon de référence, auquel il n'appartient pas *a priori*. Pour cela, on calcule la probabilité de trouver au sein de la population de référence un individu encore plus atypique que le spécimen considéré. Si la distance probabiliste = 0, cela signifie que l'on n'a aucune chance de trouver un individu plus atypique que le spécimen considéré, celui-ci est donc très atypique par rapport à la population de référence. Cette probabilité est difficilement interprétable, d'autant plus qu'elle n'a pas de signe et ne permet donc pas de savoir si l'individu est plus petit ou plus grand par rapport à la population. On redimensionne donc cette probabilité grâce à l''utilisation d'un quantile de loi de Student. Ce concept, appelé écart réduit ajusté (ERA), favorise une analyse plus simple et plus directe. Il convient de faire attention, car alors l'interprétation de l'ERA, qui est réellement la distance entre l'individu et la population de référence, est inverse de celle de la distance probabiliste : plus l'ERA est proche de 0, plus l'individu est intégré dans la population de référence. Le calcul de l'ERA a été fait pour chaque individu Néandertalien, pour chacune des variables décrites ci-dessus, grâce à Microsoft Excel 2007.

III.1.3.2. Analyse en composante principale

Nous avons aussi effectué des analyses en composantes principales (ou ACP). Une observation préliminaire nous a montré que Regourdou 1 est plus petit qu'un bassin moderne moyen. Nous avons donc fait le choix d'utiliser une ACP doublement centrée (Cibert *et al.* 1999), qui permet de diminuer l'influence de la taille de chacun des individus sur les résultats de l'analyse (Figure 26).

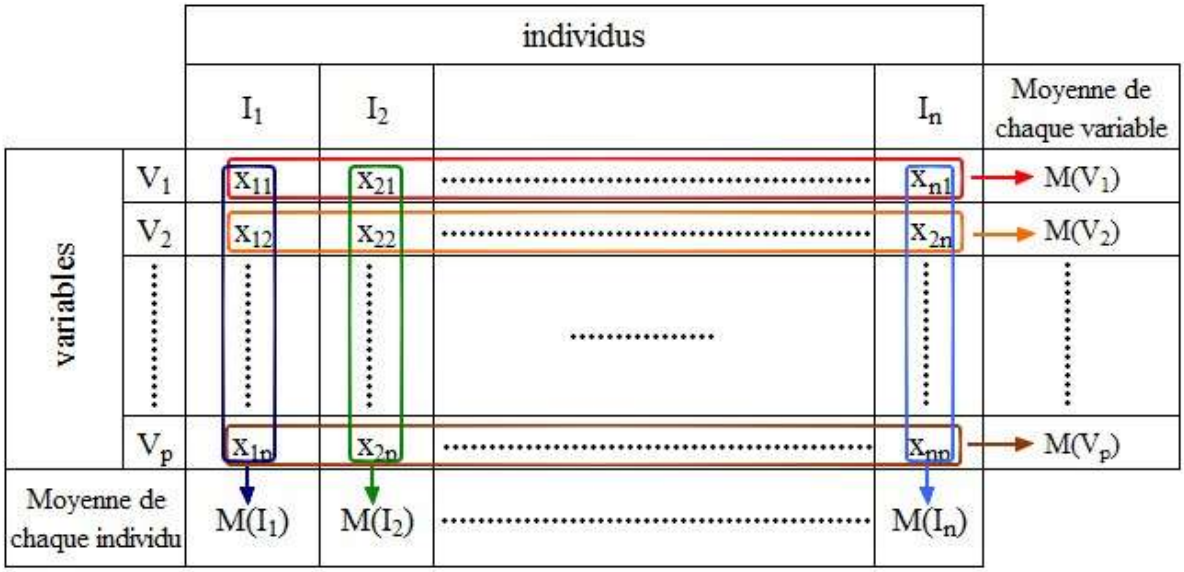


Figure 26. L'analyse en composantes principales doublement centrée.

$V_{1\text{-}p}$: variables ; $I_{1\text{-}n}$: individus ; $X_{11\text{-}np}$: valeurs ; $M(V_{1\text{-}p})$: moyenne des valeurs, par variables ; $M(I_{1\text{-}n})$: moyenne des valeurs par individus par individus. Une ACP classique centre les valeurs uniquement par la moyenne des variables [soit $X_{11\text{-}np}$ - $M(V_{1\text{-}p})$] tandis qu'une ACP doublement centrée les centre aussi par la moyenne des individus [soit $X_{11\text{-}np}$ - $M(V_{1\text{-}p})$- $M(I_{1\text{-}n})$].

Lors de la première étape du calcul d'une ACP, chaque valeur (x_{11}, x_{12}…x_{np} sur le schéma) est centrée par la moyenne de la variable considérée, soit $M(V_{1\ldots p})$. C'est-à-dire qu'on soustrait la moyenne à chaque valeur. Une ACP doublement centrée procède à un deuxième centrage des données, cette fois-ci par les moyennes de chaque individu soit $M(I_{1\ldots p})$. Mathématiquement, on considère que la moyenne de chaque individu traduit sa taille. En centrant par la moyenne de l'individu, on centre donc par la taille, ce qui diminue l'influence de cette dernière sur les mesures. L'utilisation d'une telle procédure nécessite que les données soient du même ordre de grandeur, comme c'est le cas dans notre étude.

Afin d'analyser les différences entre un individu donné et une population, nous utiliserons à la fois les graphiques représentant les individus et ceux représentant les variables (ou cercle de corrélation). Pour chaque couple d'axes, les deux graphiques doivent être lus en parallèle. Le cercle des corrélations permet en effet d'identifier les variables qui sont bien corrélées aux axes ou à la distance entre l'individu concerné et la population.

III.2. Méthodologie de la reconstruction virtuelle du bassin Regourdou 1

III.2.1. Création de la base de données numérique

Une base de données 3D de pelvis virtuels, a été créée lors de ce travail, à partir de la série de 150 examens médicaux, originaires de l'hôpital Nord de Marseille. Nous avons aussi utilisé le CT-scan de Kebara 2.

Parmi les différents logiciels qui permettent la construction d'objets 3D à partir de scanners médicaux (AMIRA ©Visage Imaging, par exemple) nous avons fait le choix d'utiliser le logiciel TIVMI® (Treatment and Increased Vision for Medical Imaging). Ce choix est justifié par le fait qu'outre sa simplicité et sa maniabilité, ce logiciel facilité la prise et l'enregistrement des points de repère. Enfin, la disponibilité du développeur du logiciel au sein de notre laboratoire a été un avantage, puisque cela a permis la construction, au fur et à mesure de l'avancée de nos travaux, de nouveaux outils, adaptés à la résolution de nos problèmes.

Les données du scanner sont importées en format DICOM, dans TIVMI®, sous la forme d'une série de coupes en deux dimensions. L'ensemble des coupes prises sur l'individu lors de l'examen est visible, il est alors non seulement possible de naviguer dans ces coupes mais aussi de sélectionner une région d'intérêt, afin d'alléger les fichiers.

TIVMI® propose une technique de reconstruction surfacique basée sur le principe du Half-Maximum Height. En tomodensitométrie à rayons X, la frontière entre deux tissus est en effet graduelle, ce qui ne facilite pas le seuillage. On connait néanmoins la densité de chacun des tissus et dans ces cas-là, il a été prouvé que l'interface entre ces deux tissus est à la moyenne de ces densités : c'est le Half-Maximum Height ou HMH (Spoor *et al.* 1993). Grâce

au calcul du HMH, TIVMI® définit, pour chaque voxel, la frontière optimale entre les différents tissus (dans notre cas, seule la limite os - tissus mous nous intéresse). À partir de ces frontières, un modèle surfacique, ou *mesh*, est créé par maillage polygonal (Dutailly *et al.* 2009).

III.2.3. La reconstruction virtuelle du bassin Regourdou 1

La reconstruction virtuelle des fossiles connaît un essor important depuis la fin des années 1990 (Zollikofer et Ponce de León 2005) grâce au développement des techniques d'imagerie médicale dans les années 1980-1990 (Zonneveld et Wind 1985 ; Zonneveld *et al.* 1989) ; voir aussi p. 29. Elle est principalement basée sur l'utilisation de ces outils et sur ceux de la géométrie morphométrique (Weber *et al.* 2001 ; Laitman 2004 ; Gunz 2005 ; Zollikofer *et al.* 2005 ; Ponce de León *et al.* 2008 ; Benazzi *et al.* 2009b ; Weaver et Hublin 2009 ; Berge et Goularas 2010 ; Chapman *et al.* 2010 ; Gunz *et al.* 2011 ; Weber et Bookstein 2011). Nous avons aussi voulu produire une reconstruction fiable, facilement reproductible et d'une méthodologie similaire à celles précédemment proposées pour des bassins néandertaliens, ce qui nous permet de comparer plusieurs individus.

Weber et Bookstein (Weber et Bookstein 2011, p.235) ont établi la liste des déformations pouvant être subies par un objet :

- type 1 : toutes les parties de l'objet sont présentes mais l'objet est (en partie) détruit

- type 2 : certaines parties de l'objet manquent

- type 3 : l'objet est déformé

- type 4 : l'objet n'est pas (entièrement) accessible, car couvert par d'autres matériaux ou objets.

Dans le cas de Regourdou 1, nous sommes à la fois dans le cas de la déformation 1 « les parties de la forme sont présentes mais plus assemblées » et dans le cas de la déformation 2 : « certaines parties de la forme sont manquantes ». Sa reconstruction virtuelle a ainsi nécessité la résolution de deux principaux problèmes : 1) reconstruire les parties déjà disponibles et 2) estimer les parties manquantes. Dans un premier temps, il faut reconstruire ce qui subsiste du

bassin Regourdou 1 : recoller les fragments osseux qui peuvent l'être et situer les restes présents les uns par rapport aux autres, les deux coxaux par rapport au sacrum, les ischiums par rapport aux coxaux et l'unique fragment de pubis par rapport à l'ensemble. Dans un deuxième temps, il faut reconstituer les pièces manquantes de la ceinture pelvienne, concrètement, toute la partie supérieure de l'aile, le pubis et une partie de l'acétabulum.

Les trois étapes de la reconstruction sont donc : 1) La mise en espace des restes déjà disponibles, 2) le choix d'une méthode d'estimation des parties manquantes et 3) l'application de cette méthode aux restes mis en espace.

III.2.3.1. Mise en espace du matériel présent

La mise en espace des restes permet de placer les points de repères, définis précédemment et qui serviront pour l'estimation des données manquantes. Cette tâche s'est faite en deux temps : les deux iliums ont d'abord été articulés au sacrum, puis l'ensemble des fragments épars a été placé par rapport à ce premier ensemble iliums-sacrum.

a. Reconstruction de l'articulation sacro iliaque

La reconstruction de la partie postérieure de la ceinture pelvienne nécessitait de reconstituer l'articulation sacro-iliaque.

L'articulation sacro-iliaque est une diarthrose (Trotter 1937), en forme de « L » ou de croissant (Brooke 1924 ; MacDonald et Hunt 1952). Les caractéristiques de cette articulation dépendent de plusieurs paramètres, comme l'âge (Brooke 1924 ; Sashin 1930 ; MacDonald et Hunt 1952 ; Carter et Loewi 1962 ; Walker 1986, 1992 ; Kampen et Tillmann 1998 ; Belcastro *et al.* 2008), le sexe (Sashin 1930 ; Valojerdy et Hogg 1989 ; Salsabili *et al.* 1995 ; McLauchlan et Gardner 2002 ; Shibata *et al.* 2002 ; Vleeming *et al.* 2012), ou le poids (Schultz 1930 ; Stewart 1938 ; Stockwell 1971 ; Vleeming *et al.* 2012). La caractéristique qui nous intéresse principalement est l'épaisseur totale de l'articulation.

L'épaisseur du cartilage articulaire est variable, et diffère entre le sacrum et l'iliaque (Sashin 1930 ; Schunke 1938 ; MacDonald et Hunt 1952 ; Walker 1986 ; Salsabili *et al.*

1995 ; McLauchlan et Gardner 2002). Ces différences structurelles pourraient être due à la bipédie, mais le fait qu'elle s'observe avant l'acquisition de la marche (Kampen et Tillmann 1998), voire peut-être chez l'embryon (Schunke 1938 ; McLauchlan et Gardner 2002) contredit cette hypothèse.

L'épaisseur ne varie pas réellement en fonction du sexe, même si une tendance à une épaisseur plus importante chez les femmes pour la zone sacrée a déjà été notée (McLauchlan et Gardner 2002). Pour Salsabili (1995), cette différence n'est pas significative. L'influence de l'âge est elle bien plus marquée et ce, dès la puberté (Carter et Loewi 1962 ; Kampen et Tillmann 1998). Néanmoins, il semblerait que cette influence se fasse plus sur la structure biochimique des tissus que sur leur épaisseur (MacDonald et Hunt 1952 ; Shibata *et al.* 2002).

Regourdou 1 est considéré comme un jeune adulte (Vandermeersch et Trinkaus 1995), voir aussi p. 103, nous avons donc étudié plus attentivement les caractéristiques de l'articulation sacro-iliaque chez les individus actuels de la classe d'âge 20-29 ans. Les données sur l'épaisseur du cartilage de l'articulation sacro-iliaque montrent sa variabilité, mais nous arrivons cependant à une moyenne d'environ 4 mm pour cette classe d'âge (Tableau 7). La robustesse de l'individu influençant l'épaisseur de l'articulation (Schultz 1930 ; Stewart 1938 ; Stockwell 1971), nous avons considéré que les Néandertaliens, décrits comme des individus robustes à la musculature puissante (Maureille 2007), ont une épaisseur de cartilage légèrement plus importante que la moyenne moderne. Nous avons donc choisi une épaisseur de cartilage globale de 5 mm.

Méthode virtuelle

Les restes de la ceinture pelvienne ont été scannés une première fois de façon isolée. Les CT-scans insérés en format DICOM sous AMIRA ont permis la construction d'images 3D. Ces images ont ensuite été chargées dans le logiciel 3Dsmax (Autodesk®), qui permet une manipulation étendue des images virtuelles dans l'espace. Les images 3D des trois différentes pièces ont été virtuellement articulées.

Tableau 7. Variabilité de l'épaisseur du cartilage de l'articulation sacro-iliaque chez l'Homme anatomiquement moderne.

Épaisseur du cartilage (mm)	Sacrum	Ilium	Somme (sacrum+ilium)
Carter and Loewi 1962	max. 6	max. 2	max. 8
MacDonald and Hunt 1952 (20-29 ans)	2 - 3	1,5	3,5 - 4,5
MacLauchlan 2002	---		7
Miura 1987	2,2 - 2,4	0,1 - 1,8	2,3 - 4,2
Paquin, *et al.*, 1983	2,3	1,1	3,4
Salsabili 1995	1,69	0,73	2,52
Sashin 1930 (20-29a)	1 - 4	0,5 - 2	1,5 - 6
Schunke 1938	1 - 3	< 1	2 - 4
Walker 1986	0,2 - 2,4	0,1 - 1,8	0,3 - 4,2
(Miura 1987 est cité par Walker 1992)	Moyenne		4,02 ±1,8

Méthode classique, ou « manuelle »

La manipulation virtuelle est à l'origine d'une incertitude conséquente et ne favorise pas la réelle maitrise du déplacement de l'objet comme peut le faire une manipulation réelle. Nous nous plaçons ici au cœur du problème qu'avait soulevé Zollikofer en soulignant que rien ne peut remplacer la manipulation directe des ossements (Zollikofer et Ponce de León 1995). C'est pour cette raison que nous avons aussi testé une deuxième reconstruction de l'articulation sacro-iliaque, plus classique (voir ci-dessous).

Nous avons reconstruit le spécimen en simulant l'articulation par l'ajout d'un matériel adhérent entre les surfaces auriculaires sacrées et iliaques. Le problème du choix de ce matériel s'est d'abord posé, celui-ci devant en effet remplir trois critères : être radio-transparent, avoir une adhérence suffisante pour maintenir les os collés et ne pas abimer les restes. Une étude comparative de six différentes plastilines (issues du commerce), aux propriétés physico-chimiques variées, a été effectuée (Tableau 8).

Tableau 8. Plastilines comparées pour la reconstruction du cartilage sacro-iliaque.

N°	marque	couleur	densité
1	Jovi	blanche	1,21
2	Play Doh	jaune	1,33
3	Play Doh	brune	1,32
4	Djego	blanche	0,34
5	Djego	orange	0,34
6	/	grise	1,69

Au cours de nos différents tests radiographiques, nous avons noté qu'à 41 kV (le meilleur paramètre pour visualiser le sacrum), les plastilines n°4, 5 et 1 sont radiotransparentes. Or ces trois pâtes ont des capacités mécaniques différentes : les pâtes n°4 et 5 sont légères et très souples mais malheureusement, elles ne collent pas. Par contre, la pâte n°1 présente *a priori* toutes les caractéristiques citées précédemment, puisqu'elle colle bien mais laisse peu de résidus sur l'os. C'est donc cette pâte-là que nous avons choisie pour notre reconstruction.

b. Mise en espace des fragments épars

L'ischium droit, les deux fragments d'ischium gauche et le fragment de pubis droit ont été scannés dans les mêmes conditions que les fragments d'iliums et le sacrum et intégrés dans AMIRA de la même façon. Dans un premier temps, le positionnement des restes les uns par rapport aux autres a été effectué grâce à l'utilisation d'un modèle. Cette méthode a été surtout développée dans le cas de reconstruction d'individus immatures (Lapeer et Prager 2000 ; Watson *et al.* 2011). En effet, la disparition du tissu cartilagineux des fontanelles induit une absence d'information entre les différentes pièces osseuses qui s'approche du manque d'information auquel nous faisons face.

Dans notre base de données numérique, nous avons sélectionné comme modèle un individu de taille équivalente à Regourdou 1. Cette sélection s'est faite à partir des dimensions du sacrum (sur la base de la distance entre les points LM1 et LM2 et de la distance entre les points LM6D et LM6G). Grâce au logiciel 3Dsmax (qui permet une grande mobilité des objets virtuels), les restes scannés de Regourdou 1 ont été déplacés afin de se superposer à cet individu. Mais les différences morphologiques entre Regourdou 1 et celui-ci, dues notamment

à l'importante asymétrie que présente le fossile (voir p. 157), ont empêché la réalisation de cette technique, l'utilisation de notre individu moderne comme modèle provoquant des aberrations anatomiques visibles.

Nous avons donc cherché à mettre au point une autre méthode permettant de replacer les restes. Nous avons ainsi utilisé comme modèle un individu néandertalien (Kebara 2) pour limiter l'influence des différences morphologiques interspécifiques. Nous avons ensuite estimé les coordonnées des points correspondants à l'ischium, créant ainsi un canevas sur lequel l'ischium a été replacé. Enfin, une approche plus classique a été proposée, consistant en l'utilisation de plastiline pour assembler les différents fragments, à l'image de ce qui a été fait sur l'articulation sacro-iliaque. Ces techniques se sont avérées soit dangereuse pour l'intégrité du fossile (risque de cassure ou d'effritement), soit à l'origine d'erreur de reconstruction trop importante. Considérant cela et sachant que les informations apportées par ces fragments présentaient peu d'intérêt pour une analyse obstétricale, nous avons fait le choix de ne pas les utiliser. Le canal obstétrical de Regourdou 1, avant sa reconstruction, est donc particulièrement représenté dans sa partie postéro-supérieure (Figure 27).

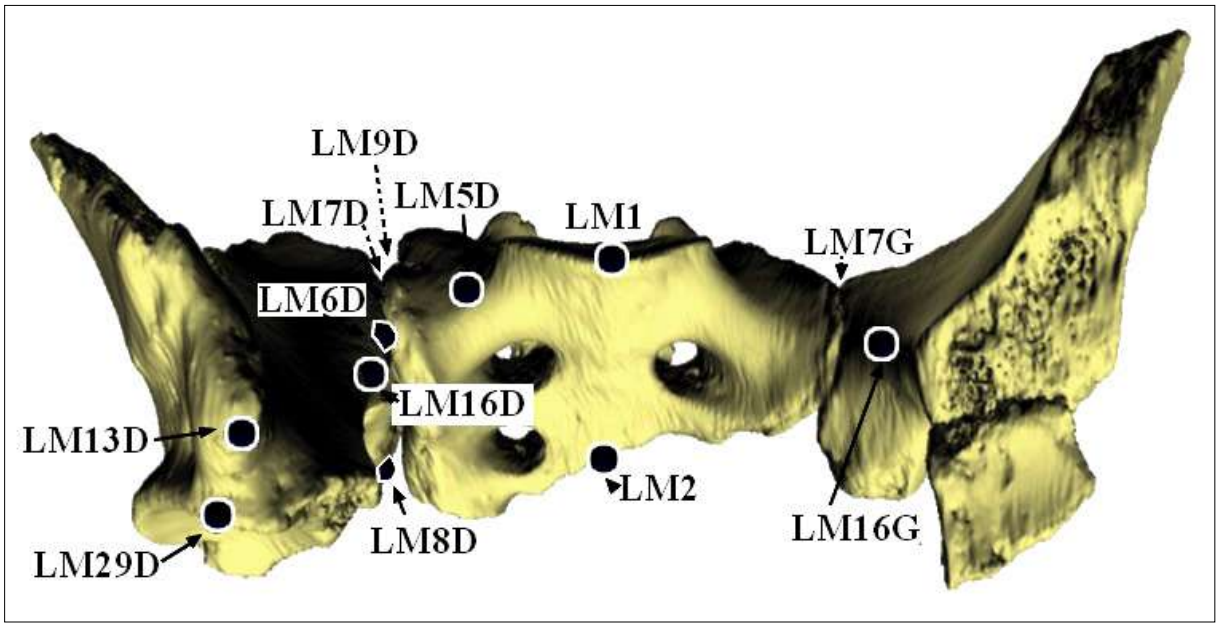


Figure 27. Points de repère pris sur le bassin néandertalien de Regourdou 1
L'image (vue antérieure) a été capturée sous TIVMI®

III.2.3.2. Comparaison de trois méthodes d'estimation des données manquantes.

L'utilisation d'outils statistiques et mathématiques, comme ceux de la morphométrie géométrique, permet aujourd'hui de proposer de nouvelles reconstructions des fossiles, à l'aide d'une estimation des données manquantes [voir par exemple, (Gunz 2005)].

Les méthodes d'estimation des données manquantes sont basées sur le principe que les informations portées par les données présentes permettent d'élaborer des hypothèses sur les parties manquantes, en utilisant la relation existant entre les différentes zones d'un objet, ici entre les différentes régions anatomiques (Strauss et Atanassov 2006). Cette relation est la base de la reconstruction et de la reconstitution paléontologique, telles qu'elles ont été définies il y a deux siècles, entre autres par Cuvier (Cuvier 1800) et peut se traduire mathématiquement.

Dans le cadre de ce travail, les données manquantes de Regourdou 1 sont traduites par l'absence de certains points. La relation entre chacun des points est connue, grâce à un échantillon de référence (ici, un échantillon actuel). On utilise cette relation pour estimer la localisation des points manquants par rapport aux points présents.

De nombreuses méthodes d'estimation des données manquantes existent, on peut les classer en deux catégories (Gunz *et al.* 2009) :

- les méthodes statistiques utilisent les outils statistiques pour estimer la position de points en fonction d'autres points. C'est le cas par exemple des différentes formes de régressions (Holt et Benfer 2000 ; Bo *et al.* 2004 ; Strauss et Atanassov 2006), de la substitution par la moyenne (Neeser *et al.* 2009) ou de l'algorithme EM[26] (Dempster *et al.* 1977 ; Weaver et Hublin 2009 ; Couette et White 2010 ; Brown *et al.* 2012)
- les méthodes géométriques utilisent les propriétés géométriques des points présents pour estimer la position des points manquants. C'est le cas principalement de la méthode des thin-plate spline ou spline en Plaque Mince[27] (Bookstein 1991b ; Neubauer *et al.* 2004 ; Benazzi *et al.* 2009a)

[26] EM est l'accronyme d'*Expectation-Maximization*
[27] Outil mathématique de l'analyse numérique, une spline est une fonction définie par morceaux par des polynômes, utilisée dans la résolution de problèmes d'interpolation.

Ces différentes méthodes présentent différents avantages et inconvénients, en fonction du matériel de référence qu'elles nécessitent, du nombre maximal de données manquantes qu'elles peuvent assumer, de la durée du calcul ou des études ultérieures prévues (Strauss *et al.* 2003 ; Gunz 2005 ; Graham 2009 ; Gunz *et al.* 2009 ; Couette et White 2010). Pour reconstruire Regourdou 1, nous avions besoin d'une méthode qui accepte un fort taux de données manquantes, avec un échantillon conséquent (79 Hommes anatomiquement modernes et Kebara 2, soit 80 individus) mais qui présente l'inconvénient d'être majoritairement d'une autre espèce que l'individu à reconstruire (qui est néandertalien). Ce dernier point est d'une importance capitale, nous avons en effet constaté que l'influence de l'inter-spécificité de l'échantillon de référence peut avoir de grandes conséquences sur la validité de la reconstruction (Neeser *et al.* 2009).

Afin de déterminer la méthode la mieux adaptée, nous avons opté pour une étude de comparaison de trois différentes méthodes. Cette étape de test préliminaire est nécessaire, elle permet de valider notre reconstruction finale (Cardini et Elton 2008). Ces trois méthodes sont : l'algorithme EM, la méthode de régressions multiples (RM) et la méthode dite des Thin-plate spline (TPS). Le choix de ces trois méthodes a été motivé d'une part par leur utilisation récente dans des reconstitutions de fossiles [(Weaver et Hublin 2009) pour l'algorithme EM et (Gunz *et al.* 2009) pour les thin-plate spline)] et d'autre part par leur utilisation massive en biologie (Neeser *et al.* 2009 ; Couette et White 2010). Une autre méthode, dite de substitution de la moyenne, a été utilisée dans le cadre d'estimation de données manquantes (Raaijmakers 1999 ; Dodeen 2003 ; Neeser *et al.* 2009). Elle est néanmoins largement critiquée aujourd'hui, (Tresp *et al.* 1995 ; Schafer et Olsen 1998 ; Schafer et Graham 2002 ; Gunz 2005 ; Neeser *et al.* 2009) ; nous avons décidé de ne pas l'utiliser.

a. Méthodes d'estimation comparées *(voir aussi Annexes, p.ix)*

Dans la description de ces méthodes, le terme « individu-test » désigne l'individu dont les données sont manquantes.

Régressions multiples (RM) : cette méthode consiste en une régression à plusieurs prédicteurs (Aiken et Xwest 1991). Séparée en trois tâches successives, la méthode RM va s'intéresser aux distances entre les points de repère plutôt qu'à leurs coordonnées. Toutes les distances entre chaque couple de points sont calculées : les points manquants chez l'individu-test correspondent ainsi à des distances manquantes. Pour chacune de ces distances manquantes, nous construisons un modèle de régression aux moindres carrés partiels [ou *Partial Least Square Regression* (Tenenhaus 1998 ; Cornillon et Matzner-Lober 2007)] utilisant les distances présentes comme prédicteurs. Chaque distance manquante est ensuite estimée en utilisant le modèle de régression. Une fois toutes les distances entre chaque couple de points connues, on utilise un positionnement multidimensionnel (ou *multi-dimensional scaling*) pour les transformer en coordonnées euclidiennes puis une analyse Procruste ordinaire[28] (OPA) pour aligner ces coordonnées sur celles de l'individu-test d'origine.

Algorithme Expectation-Maximisation (EM) : cet algorithme itératif est séparé en deux étapes, l'une d'évaluation de l'espérance (*expectation*) et l'autre de maximisation (*maximization*), d'où son nom. L'algorithme EM tel qu'il est utilisé ici n'est pas l'algorithme EM à proprement parler (Dempster *et al.* 1977), mais plutôt une adaptation de ce dernier[29] telle qu'elle est présentée par Weaver et Hublin (Weaver et Hublin 2009). La première étape consiste en l'alignement des individus complets sur l'individu-test par analyse Procruste générale (GPA). Cette GPA est construite en prenant uniquement en compte les points présents chez l'individu test (on applique le même ensemble de transformation (translation, rotation, mise à l'échelle) aux autres points, ce qui permet de préserver la conformation et la taille de l'individu-test). Viennent ensuite deux étapes iteratives (que l'on peut considérer comme *expectation* et *maximization*) : dans un premier temps, nous estimons tous les points manquants de l'individu-test, coordonnée par coordonnée, en utilisant une régression à composantes principales. Dans un second temps, on superpose tous les individus, à nouveau

[28] L'analyse Procruste ordinaire ne concerne que deux individus (un individu « immobile » sur lequel s'aligne l'autre individu) contrairement à l'analyse Procruste générale qui calcule un consensus à partir de plusieurs individus (Goodall 1991).
[29] L'algorithme EM au sens strict n'est pas adapté à l'estimation de nombreuses données manquantes dans des matrices en trois dimensions.

par GPA, en utilisant cette fois tous les points. Ces deux temps sont répétés jusqu'à la stabilisation des coordonnées et de l'erreur (strictement de la sommes des erreurs au carré, ou *Sum of Square Error*). La présence de cette itération fait que la méthode EM est une méthode longue. Nous avons donc limité le nombre d'itérations à 20, ce qui est généralement suffisant pour atteindre une convergence correcte de l'algorithme (F. Santos, comm. pers.).

Déformation par thin-plate spline (TPS) : cette méthode est une amélioration de la méthode de substitution par la moyenne (Neeser *et al.* 2009). On calcule d'abord par GPA un consensus de tous les individus d'apprentissage (l'échantillon moins l'individu-test) en utilisant l'ensemble des points de repères. On aligne ensuite ce consensus d'apprentissage sur l'individu-test grâce à une analyse Procruste ordinaire calculée à partir des points présents chez ce dernier (les autres points subissent les mêmes transformations de translation-rotation-mise à l'échelle pour « suivre » les points présents). Ce nouvel individu (le consensus aligné) devient alors la forme de référence de l'étude. Pour chaque point manquant sur l'individu-test, on applique trois fonctions thin-plate spline sur la forme de référence (une pour chacune des dimensions de l'espace). Ces fonctions polynomiales sont construites à partir de l'information portée par l'individu-test et par le consensus d'apprentissage. En effet, les coordonnées des points, mais aussi les distances entre ceux-ci servent de base mathématique au calcul des coefficients de la fonction. L'utilisation de ces fonctions, et à travers elles, des informations portées par les points de l'individu-test, permet d'appliquer à notre forme de référence une déformation qui tend à le rapprocher morphologiquement de celui-ci. De façon plus triviale, ces fonctions permettent de faire « coller au mieux » l'individu-test à la forme de référence.

L'efficacité de ces méthodes et la précision des estimations qu'elles proposent dépendent de plusieurs paramètres, comme la taille de l'échantillon, la différence de sexe avec l'individu-test ou le nombre de données manquantes (Strauss *et al.* 2003 ; Neeser *et al.* 2009 ; Couette et White 2010). Afin de mieux mesurer l'impact de ces paramètres, de nombreux auteurs ont proposé des comparaisons statistiques de ces méthodes. Dans le cadre de la paléontologie, cette comparaison s'est faite uniquement sur le crâne (Gunz 2005 ; Couette et

White 2010). Suivant ce modèle, mais en l'appliquant à la ceinture pelvienne, nous proposons une comparaison exhaustive de ces trois méthodes en prenant en compte différents paramètres, tous susceptibles de varier dans le cadre d'une reconstruction d'un bassin fossile incomplet.

b. Paramètres étudiés

Taille de l'échantillon : la taille de l'échantillon est un des principaux paramètres à prendre en compte lors de l'utilisation de telles méthodes. Afin de tester ce paramètre, nous avons construit aléatoirement trois échantillons d'effectif (N) différent : 79 (échantillon complet), 50 et 30 individus. Nous avons testé la méthode TPS avec un seul spécimen de référence. En effet, cette méthode est réputée robuste, même dans le cas d'un échantillon de référence de faible effectif (Gunz 2005 ; Couette et White 2010). Ce test, appelé « TPS à 1 individu de référence » s'est fait sur 25 points manquants.

Nombre de données manquantes : généralement, la précision de l'estimation décroît à mesure que le nombre de données manquantes augmente (Neeser *et al.* 2009). Nous avons voulu tester cette hypothèse en supprimant au hasard de 5 à 30 points de repères, avec une incrémentation de 5.

Type de données manquantes : le type des points de repères manquants peut avoir une influence sur les résultats de l'estimation. Afin de tester cette hypothèse, chaque estimation a été effectuée sur deux listes distinctes de points manquants. Tous les paramètres étant égaux par ailleurs, les différences de résultats ne sont dues qu'aux types de points manquants.

Sexe de l'échantillon : nous émettons l'hypothèse que l'estimation de données manquantes sur le bassin donne de meilleurs résultats si l'échantillon de référence est de même sexe que l'individu à estimer. Or, nous avons déjà abordé la difficulté de proposer un sexe pour Regourdou 1 (voir p. 104). Pour tester notre hypothèse, nous avons reconstruits cinquante individus (25 hommes et 25 femmes) grâce à trois échantillons différents : un échantillon de même sexe que l'individu estimé, de sexe opposé et enfin à partir d'un échantillon mixte.

Échantillon inter ou intra spécifique : certaines études ont mis en avant l'importance de la taxinomie dans le choix de l'échantillon (Gunz 2005 ; Couette et White 2010). Pour tester l'impact de la différence taxinomique, nous avons appliqué nos trois méthodes de reconstruction (avec un échantillon n=80), à Kebara 2. Tous les points de repères ont été collectés sur le coxal droit et le sacrum de cet individu néandertalien, les points gauches ayant ensuite été construits par symétrie.

La comparaison des trois méthodes (RM, EM, TPS) a été faite suivant un protocole précis, en plusieurs étapes.

Étape 1 : à partir d'un échantillon de N individus, nous sélectionnons un individu-test, chez qui nous éliminons k points de repère de façon aléatoire. L'ensemble des N-1 individus restant compose donc l'échantillon de référence. Les trois méthodes sont ensuite appliquées à l'individu-test pour estimer les coordonnées de ses points manquants. L'erreur d'estimation (distance euclidienne entre la position réelle et la position estimée des points) est calculée pour chaque point et chaque méthode.

Étape 2 : l'étape 1 a été appliquée à l'ensemble des N individus de l'échantillon, pour chaque couple (N, k) de l'étude, suivant le principe du « leave-one-out » : les uns après les autres, les individus sont choisis comme individu-test. L'étape 1 a donc été répétée N fois.

Étape 3 : une fois l'ensemble des N individus estimé, la série d'estimation (N, k) est achevée.

Étape 4 : pour chaque série (N, k), nous avons calculé une erreur résiduelle globale moyenne, à partir des N erreurs résiduelles correspondant aux N estimations. Ces erreurs ont ensuite été comparées grâce à différents tests statistiques non paramétriques (Sprent et Smeeton 2007), considérant qu'à $p>0,05$ la différence de précision est non significative. Plusieurs comparaisons ont été menées afin d'évaluer l'influence des paramètres cités ci-dessus.

À nombre de points manquants égal, nous avons comparé les précisions des estimations pour chaque taille d'effectif. Inversement, à taille d'effectif égale, nous avons comparé les

précisions des estimations pour chaque nombre de points manquants. Pour chaque couple (N, k), nous avons aussi comparé les trois méthodes entre elles, grâce à un test de Mann-Whitney (Sprent et Smeeton 2007). Dans le cas d'une différence non-significative (p>0,05), nous avons arrêté là la comparaison, et considéré qu'il n'y avait pas de différence de précision entre les trois méthodes. Si la valeur p était inférieure à 0,05, nous avons comparé alors les méthodes deux à deux, pour déterminer où se situe exactement la différence, cette fois-ci grâce à un test de Wilcoxon[30] (Sprent et Smeeton 2007) effectué sur les médianes (dit aussi test *post-hoc*).

Dans le cadre de la comparaison avec des échantillons de sexe différents ou dans le cas du test sur Kebara 2, nous avons procédé différemment. En effet, dans ce type d'analyse, le spécimen estimé est très important (pour son sexe dans le premier cas, par son statut taxinomique dans le deuxième cas) et le test utilisé doit conserver l'information de l'identité de ce spécimen, c'est ce qu'on appelle un test longitudinal. Nous avons donc appliqué d'abord un test de Friedman et dans le cas d'un p inférieur à 0,05, un test de Wilcoxon (Sprent et Smeeton 2007).

III.2.3.3. Prise en compte de l'asymétrie

Afin de diminuer la quantité de données manquantes sur le bassin Regourdou 1, nous avons fait appel à la symétrie intrinsèque au bassin humain. Cette symétrie est sagittale, par rapport à un plan passant au milieu du sacrum. La partie droite de la ceinture pelvienne de Regourdou 1 étant mieux représentée que la partie gauche, de nombreux points de repère à gauche sont ainsi construits par symétrie avec leurs homologues droits, grâce au logiciel TIVMI®.

Le bassin Regourdou 1 présentant une asymétrie marquée, notamment au niveau de la longueur et de la puissance des ailerons sacrés (Meyer *et al.* 2011a), l'utilisation de la symétrie comme outil de reconstruction pose donc problème. Afin d'établir l'impact de cette asymétrie sur notre reconstruction, nous avons établi trois approches : la reconstruction faite

[30] D'un point de vue mathématique, les tests de Wilcoxon et Mann-Whitney sont un seul et même test. Toutefois, en statistique, on parle de test de Wilcoxon quand il est appliqué à des échantillons apariés.

avec tous les points disponibles et utilisant la symétrie pour placer certains points à gauche, la reconstruction faite uniquement par symétrie à partir des points à droite et la reconstruction faite uniquement par symétrie à partir des points à gauche. Ces trois reconstructions diffèrent grandement dans le nombre de points de repère connus (Tableau 9).

L'ensemble des méthodes d'estimation des données manquantes que nous avons étudiées ainsi que les étapes préliminaires à cette estimation se font de manière virtuelle et numérisée, soit rapidement. Il nous a donc été possible d'effectuer ces trois approches et de les comparer.

Tableau 9. Points disponibles sur Regourdou 1 en fonction de l'approche de la symétrie du bassin

		Reconstruction globale	Reconstruction symétrique droite	Reconstruction symétrique gauche
Points disponibles	Partie postérieure	LM1, LM2, LM5D, LM5G, LM6D, LM6G, LM7D, LM7G, LM8D + LM8G par symétrie, LM9D + LM9G par symétrie, LM13D +LM13G par symétrie, LM14D, LM14G, LM16D, LM16G, LM29D + LM29G par symétrie	LM1, LM2, LM5D, LM6D, LM7D, LM8D, LM9D, LM13D, LM14D, LM16D, LM29 et leurs symétriques gauches	LM1, LM2, LM5G, LM6G, LM7G, LM14G, LM16G et leurs symétriques droits.
	Autres fragments	LM25D, LM26D + LM25G, LM26G, par symétrie	LM25D, LM26D et leurs symétriques gauches	Pas de points disponibles
Nombre de points disponibles		20 + 4 points	20 + 4 points	12 + 0 points

III.2.3.4. Comparaison des reconstructions

Weber et Bookstein (2011) ont montré que plusieurs reconstructions successives d'un même individu permettent de visualiser l'erreur possible de la méthode choisie. Deux cas sont envisageables : les reconstructions et leur moyenne ne sont pas très différentes, l'incertitude de la méthode n'est donc pas trop conséquente ou les reconstructions et leur moyenne sont très différentes, l'incertitude est plus importante et les données ne sont pas exploitables (Weber et Bookstein 2011, p. 240).

Nous avons utilisé la technique de la superposition Procruste pour comparer nos reconstructions deux à deux (Gower 1975). Cette analyse permet d'aligner différents

individus grâce à trois étapes de transformation : une translation, qui superpose les individus, une rotation, qui minimise les distances entre les points de repères et une mise à l'échelle, qui uniformise la taille (Mitteroecker et Gunz 2009). En appliquant à chaque couple une analyse Procruste ordinaire, on peut extraire les distances Procrustes, qui représentent la différence subsistant entre les deux individus après la superposition. Cette distance Procruste, qui s'exprime dans la même unité que les coordonnées, représente trivialement la différence formelle entre les reconstructions, en faisant abstraction de l'influence de la taille.

III.2.4. Création et visualisation d'une surface 3D

Nous avons voulu concrétiser notre reconstruction et avons dans ce but cherché un moyen de la visualiser. En effet, il nous a semblé qu'un simple nuage de points ne permettrait pas de comprendre et d'évaluer correctement notre travail. Nous avons donc crée une surface 3D, dans un but de présentation du bassin Regourdou 1 reconstruit. À partir des 54 points de repère définis p. 114, nous avons créé 86 surfaces triangulaires (Figure 28). Elles se répartissent en quatre groupes : les surfaces en face interne du coxal, les surfaces en face externe du coxal, les surfaces sur le sacrum et les surfaces dites de couture, qui permettent de relier les surfaces des trois premiers groupes.

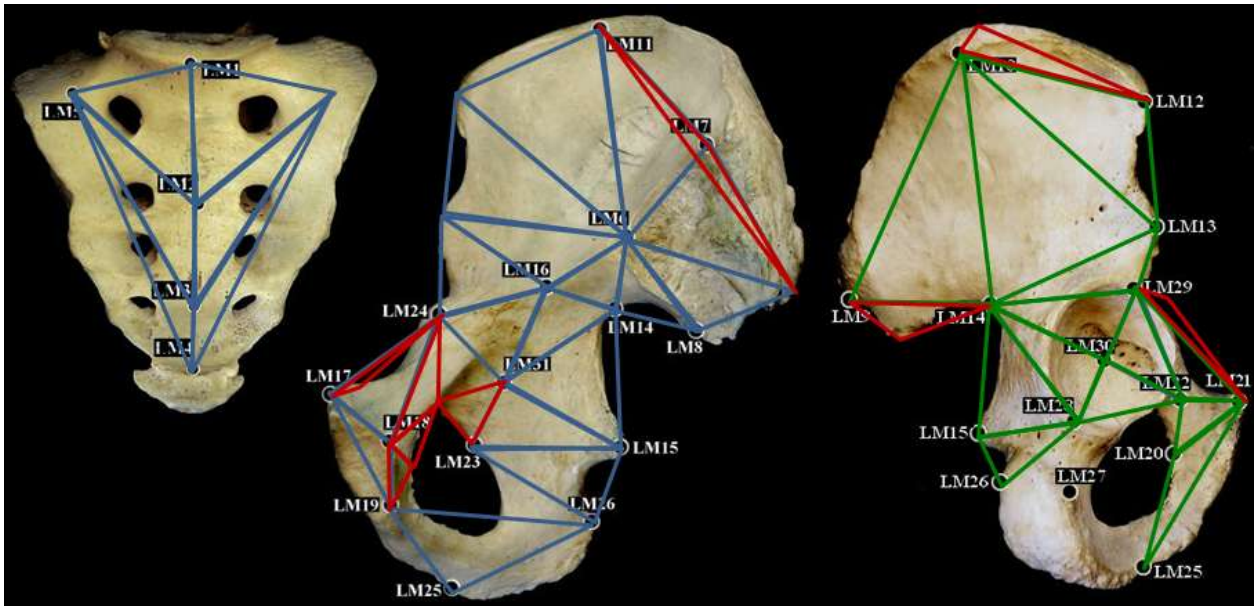


Figure 28. Surfaces triangulaires externes définies pour la création d'une surface 3D.
Vert : surfaces externes ; bleu : surfaces internes ; rouge : surfaces de couture

Ces surfaces ont été définies graphiquement puis leur construction a été codée et insérée en fichier *.ply*. Ce fichier *.ply* peut être ouvert dans TIVMI® ou dans meshlab © un logiciel de visionnage 3D.

L'ensemble des résultats de notre analyse comparative des méthodes d'estimation des données manquantes ainsi que la reconstruction virtuelle du bassin Regourdou 1 sont présentés dans la partie IV.Résultats, à partir de la page 190.

III.3. Analyse obstétricale de la ceinture pelvienne de Regourdou 1.

L'analyse des dimensions obstétricales de la reconstruction du bassin Regourdou 1 a été menée grâce à différents outils de comparaison métrique classique et de morphométrie géométrique.

III.3.1. Définitions des variables métriques

Parmi les points de repères définis précédemment, certains sont associés à des mesures obstétricales et permettent de prendre ces mesures sur l'ensemble de notre échantillon de référence virtuel obstétrical, ainsi que sur Kebara 2 et sur la reconstruction de Regourdou 1. Cette prise de mesure a été effectuée directement à partir des coordonnées des points placés sur les bassins sur Microsoft Excel® (Windows 2007). Afin de pouvoir placer les points correspondant au cartilage de la symphyse pubienne, nous avons construit mathématiquement les points impairs LM17 (milieu du segment [LM17G-LM17D]), LM18 (milieu du segment [LM18G-LM18D]) et LM19 (milieu du segment [LM19G-LM19D]).

III.3.1.1. Définitions des mesures linéaires (Figure 29)

Détroit supérieur

1. Diamètre promonto-rétropubien (PRP), *conjugata vera*. [M.23, (Bräuer 1988)] : distance entre le point de repère LM1 (point médial de la bordure antérieure du promontoire) et le point de repère LM17 (point supéro-médial de la symphyse pubienne). C'est l'équivalent du diamètre A-B dans Tague (1989). Cette distance a une importance capitale : les obstétriciens considèrent en effet qu'un diamètre promonto-rétropubien supérieur à 9 cm est nécessaire pour une expulsion du fœtus par voie basse (Schaal *et al.* 1998).

2. Diamètre transverse maximum (TrMax), [M.24, (Bräuer 1988)] : distance entre les points d'inflexion des lignes arquées droite et gauche, soit distance entre les deux points de repères LM16D et LM16G. C'est l'équivalent du diamètre G, selon Tague (1989).

L'addition des diamètres transverse maximum et promonto-rétro-pubien est l'indice de Magnin, qui, selon les obstétriciens, doit être supérieur à 230 pour que l'accouchement soit eutocique (Malinas 1995 ; Schaal *et al.* 1998).

3 et 4. Diamètre oblique, droit et gauche (ObD et ObG), [M.25, (Bräuer 1988)] : distance entre le point d'intersection de la ligne arquée et de la surface auriculaire d'un côté (LM6), et le sommet de l'éminence ilio-pectinée opposée (LM24).

Détroit moyen et cavité pelvienne

5. Diamètre promonto-sous-pubien (PSP), *conjugata diagonalis*. [M.23.2, (Bräuer 1988)] : distance entre le point médial de la bordure antérieure du promontoire (LM1) et le point inféro-médial de la symphyse pubienne (LM19).

6. Diamètre mi-sacro – pubien (MSP), [M.23.1, (Bräuer 1988)] : distance entre le point médial de la bordure antérieure de la suture S2-S3 (LM2) et le point médial (LM18) de la symphyse.

7. Diamètre bi-épineux ou bi-sciatique (BiEp), [M8, (Bräuer 1988)] : distance entre l'apex des deux épines sciatiques, soit entre les points de repère LM15D et LM15G. C'est l'équivalent du diamètre I selon Tague (1989).

8. Diamètre transverse bi-cotyloïde (BiCot) : distance entre les deux points correspondant à la projection du centre de l'acétabulum sur la surface quadrilatère, soit entre les points de repère LM31D et LM31G. C'est l'équivalent du diamètre H selon Tague (1989).

9. Corde sacrée (Corde) : distance entre le point médial de la bordure antérieure du promontoire (LM1) et l'apex du sacrum (LM4). C'est l'équivalent de la variable LOSA (longueur du sacrum) selon Marchal (1994).

Détroit inférieur

10. Diamètre bi-ischiatique postérieur (BIP) : distance entre les extrémités postérieures des deux tubérosités ischiatiques, soit entre les points de repère LM26D et LM26G.

11. Diamètre bi-ischiatique antérieur (BIA) : distance entre les extrémités antérieures des deux tubérosités ischiatiques, soit entre les points de repère LM25D et LM25G. C'est l'équivalent de la largeur inter-ischiatique, selon Marchal (Marchal 1994).

Dans la littérature, le diamètre transverse généralement défini pour le détroit inférieur est un diamètre bi-ischiatique médian, pris au milieu de la tubérosité ischiatique, c'est-à-dire entre les points LM27D et LM27G. Nous verrons que le point LM27 présente une erreur de localisation très importante (voir p. 190) et que nous avons finalement décidé de ne pas l'utiliser. Dans notre étude, tous les diamètres transverses ayant été mesurés de la même façon, cela ne pose pas de difficultés. Dans le cas de l'analyse de la relation céphalo-pelvienne (voir p. 250) nous avons calculé un diamètre médian, cohérent avec les données issues de la littérature.

12. Diamètre sous-sacro - sous-pubien (SSSP), (M.26, (Bräuer 1988): distance entre l'apex du sacrum (LM4) et le point inféro-médial de la symphyse pubienne (LM19). C'est l'équivalent du diamètre E-D selon Tague (1989).

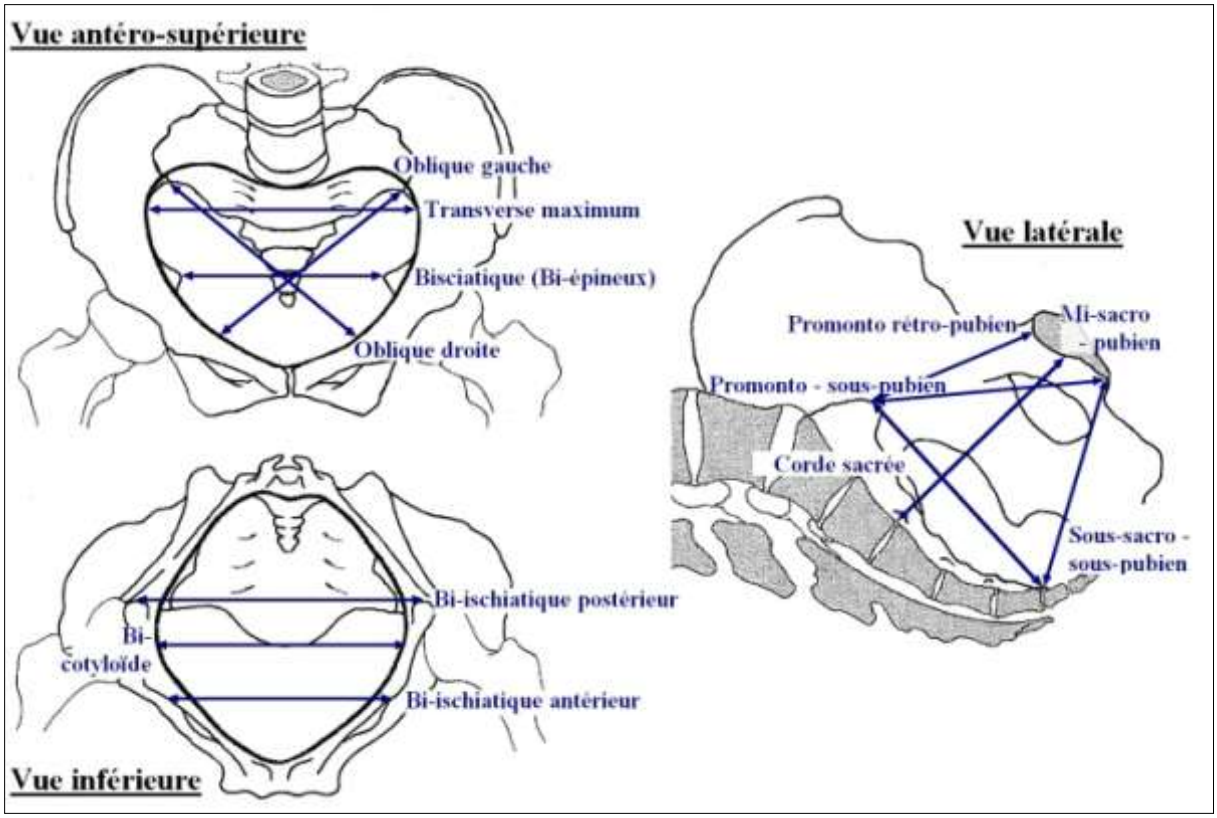


Figure 29. Mesures obstétricales
Modifiée d'après Schaal, et al, 1998.

Nous avons calculé l'incertitude inter et intra-observateur lors de la prise de ces points (voir p. 118). Cette incertitude a évidemment une influence sur la dimension obstétricale associée aux points considérés. L'erreur maximale estimée pour chaque mesure est la somme de l'erreur de localisation des deux points qui la définissent (voir p. 213).

Nous avons aussi voulu tester l'influence de l'estimation des données manquantes sur les dimensions obstétricales. Les mesures ont été prises sur un échantillon moderne. Nous avons effectué un test d'estimation sur cet échantillon, avec une estimation par la méthode TPS à 1 individu de référence et 34 points manquants (les points manquants chez Regourdou 1). Les mesures ont été prises après l'estimation et une moyenne des erreurs résiduelles entre la mesure d'origine (la « vraie » mesure) et la mesure estimée a pu être calculée. Les résultats de cette dernière analyse sont présentés en annexe, p. xiii.

III.3.1.2. Définitions des indices obstétricaux

Pour chaque détroit obstétrical, nous avons calculé un indice entre le diamètre antéro-postérieur et le diamètre transverse.

1- Indice du détroit supérieur (I_{DS}) $= \frac{PRP}{TrMax} \times 100.$ L'importance de cet indice est capitale, puisqu'il décrit l'aire d'engagement (Malinas et Favier 1979). Il a par ailleurs été utilisé par les anthropologues pour classer les différents types de bassin (Caldwell et Moloy 1933) et permettait traditionnellement de déterminer le degré de platypelloïdie d'un bassin (Abitbol 1996a).

Parmi les différents diamètres que nous avons utilisés pour décrire la cavité pelvienne et le détroit moyen, nous avons sélectionné les diamètres mi-sacro-mi-pubien et bi-épineux, plus couramment utilisés pour définir le détroit moyen *sensu stricto*.

2- Indice du détroit moyen (I_{DM}) $= \frac{MSP}{BiEp} \times 100$

Le détroit inférieur n'a pas de réalité totalement ostéologique. Le principal obstacle à la descente fœtale étant alors les tissus mous, il est peu étudié par les obstétriciens et les anthropologues (Abitbol 1996a ; Cunningham *et al.* 2010). Nous avons toutefois défini un indice entre le diamètre bi-ischiatique antérieur et le diamètre sous-sacro – sous-pubien afin de pouvoir comparer les trois détroits.

3- Indice du détroit moyen (I_{DI}) $= \frac{SSSP}{BIA} \times 100.$

III.3.1.3. Aire et circonférence des détroits, volume de la cavité pelvienne

Aire des détroits

L'aire des trois détroits (assimilés à des ellipses) a été calculée à partir de leurs diamètres transverse ($r1$) et antéropostérieur ($r2$): transverse maximum et promonto – rétro-pubien pour

le détroit supérieur, bi-sciatique et mi-sacro – mi-pubien pour le détroit moyen, bi-ischiatique antérieur et sous-sacro – sous-pubien pour le détroit inférieur.

$$A = \frac{r1}{2} \times \frac{r2}{2} \times \pi$$

Périmètre des détroits

Chaque détroit est associé à certains des points de repère (Tableau 10). La distance entre chacun de ces points a été calculée et la somme de ces distances est considérée comme étant une bonne approximation du périmètre de chacun des détroits.

Tableau 10. Points de repère associés à chacun des trois détroits obstétricaux.

Détroit	Points de repère associés
Supérieur	LM1, LM6, LM16, LM24, LM17
Moyen	LM2, LM14, LM15, LM31, LM18
Inférieur	LM4, LM15, LM25, LM26, LM19

Volume de la cavité pelvienne

On peut assimiler le canal pelvien à un empilement de deux sections de cône (Figure 30) : la première entre les détroits supérieur et moyen, la seconde entre les détroits moyen et inférieur. Calculer le volume de la cavité pelvienne implique donc d'additionner les volumes de ces deux sections. Le calcul de l'aire d'une section de cône implique la résolution d'équations à plusieurs inconnues, nous avons opté pour une méthode plus directe.

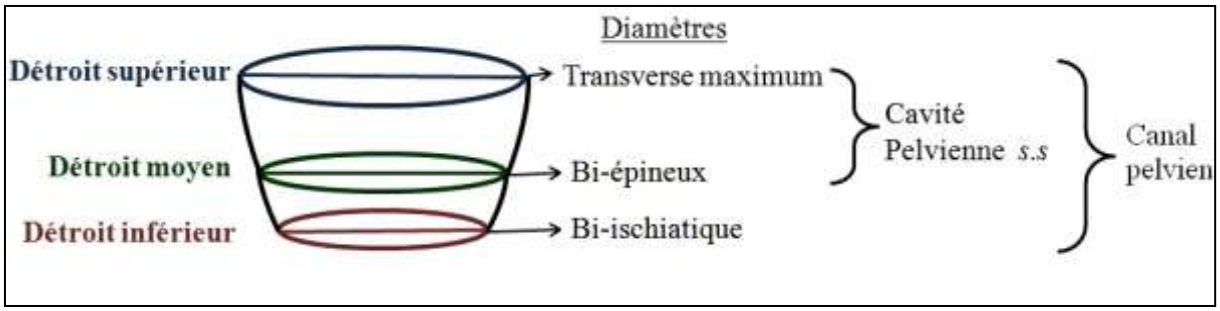


Figure 30. Le canal pelvien : schéma simplifié.

Plutôt que de considérer deux sections de cône, nous avons schématisé le canal pelvien comme l'empilement de trois cylindres (Figure 31). Le volume de chacun de ces cylindres nous a permis de calculer pour le volume total une approximation haute et une approximation basse. Le volume exact du canal pelvien est compris entre ces deux approximations mais nous est inconnu. Nous avons utilisé la moyenne de ces approximations comme donnée référence du volume du canal pelvien ou de la cavité pelvienne.

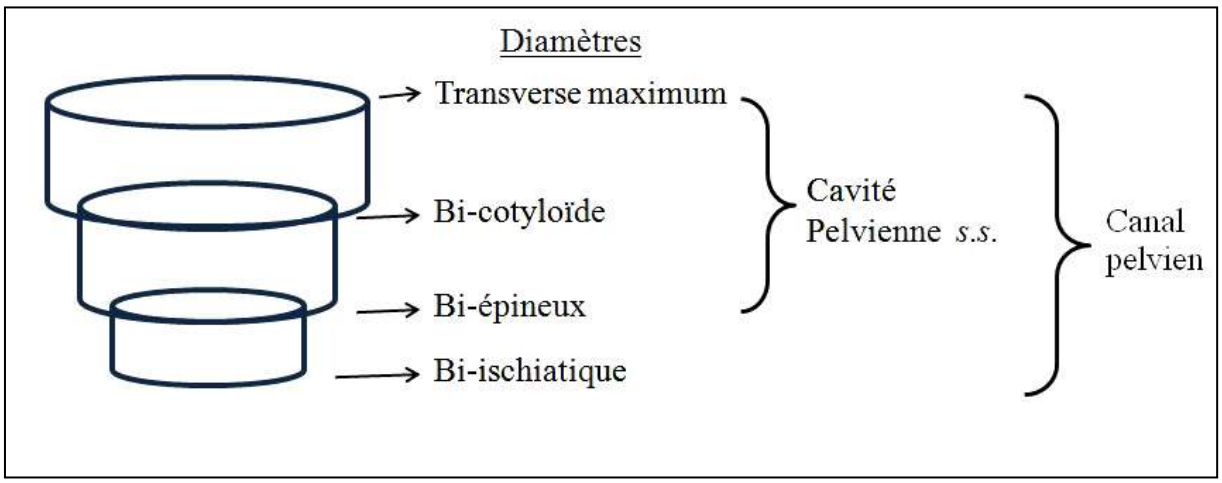


Figure 31. Schématisation du canal pelvien pour le calcul du volume.
Le canal pelvien est décrit comme la succession de trois cylindres, ce qui permet d'estimer le volume.

Pour calculer le volume de chaque cylindre, nous avons défini quatre plans elliptiques : un au niveau du détroit supérieur, grâce aux diamètres promonto – rétro-pubien et transverse maximum, deux au niveau du détroit moyen grâce au diamètre mi-sacro – mi-pubien et aux diamètres bi-épineux ou bi-cotyloïde et enfin un au niveau du détroit inférieur grâce aux diamètres sous-sacro – sous-pubien et bi-ischiatique antérieur. La distance entre chacun de ces

plans a été établie, c'est h : la hauteur du cylindre. L'aire de chacun de ces plans a été calculée suivant notre méthode de calcul d'aire du détroit supérieur. Finalement :

$V = h \times A$ où $A = \frac{r1}{2} \times \frac{r2}{2} \times \pi$, avec r1 et r2 les deux rayons de chaque ellipse.

La cavité pelvienne au sens stricte, telle qu'elle est définie en obstétrique, ne contient pas le dernier cylindre décrit entre les diamètres bi-épineux et bi-ischiatique.

III.3.2. Analyse métrique des dimensions obstétricales de Regourdou 1

Notre description morphométrique a mis en évidence des différences entre le bassin moderne et le bassin néandertalien. L'analyse des mesures présentées ci-dessus nous permet d'aborder la question plus précise de la morphologie du canal pelvien. Notre hypothèse est que, malgré certaines particularités, le canal pelvien néandertalien présente une morphologie proche des individus modernes. Diverses analyses nous offrent la possibilité de vérifier cette hypothèse.

III.3.2.1. Analyse statistique classique

Nous avons rencontré les mêmes difficultés d'analyse statistique pour les dimensions obstétricales de Regourdou 1 que pour les mesures descriptives définies précédemment, et notamment le faible effectif de notre échantillon néandertalien (voir p. 127). Cela nous a conduite, par le même raisonnement, à choisir d'effectuer sur ces mesures une analyse de la distance probabiliste et des analyses en composantes principales doublement centrées.

III.3.2.2. Morphométrie géométrique

Les méthodes statistiques présentées ci-dessus font partie de ce qu'on appelle couramment la morphométrie traditionnelle (Marcus 1990). Dans le cadre de notre étude, nous avons aussi utilisé les outils de la morphométrie géométrique (Adams *et al.* 2004 ;

Mitteroecker et Gunz 2009). Ces méthodes permettent de travailler sur la conformation des objets. En effet, la forme d'un individu peut être décomposée comme telle :

Forme = Taille + Conformation,

ce qu'on considère comme étant la traduction de *Form = Size + Shape* (Kendall 1977). Ainsi, la géométrie morphométrique permet généralement de faire abstraction de la taille de chacun des individus concernés par l'analyse.

Dans un premier temps, nous avons appliqué à notre échantillon une analyse Procruste (Gower 1975). Cette méthode permet d'uniformiser les coordonnées (x, y, z) et d'aligner chaque sujet, grâce à trois étapes de transformation géométrique : une translation (les individus sont superposés grâce à leur centroïde), une rotation (qui permet de minimiser les distances entre les points de repères) et une mise à l'échelle (qui ramène la taille centroïde des individus à 1, afin d'uniformiser la taille). La position moyenne de chaque point de repère permet de construire un individu consensus, à partir de laquelle on discute les variations de chaque individu. Une fois la superposition achevée, il est possible d'effectuer une analyse sur ses résidus, (qui correspondent à la distance entre les points de repère de chaque individu et ceux du consensus), comme par exemple des ACP (Guipert et Mafart 2006 ; Mitteroecker et Gunz 2009 ; Weber et Bookstein 2011).

Nous avons utilisé certains des points de repère précédemment décrits, afin de travailler sur la morphologie des trois détroits du canal pelvien (Tableau 10), comme cela a déjà été effectué sur d'autres hominidés (Bouhallier *et al.* 2004). Deux analyses différentes ont été réalisées : d'abord, une ACP sur les résidus Procuste, grâce à l'EVAN tool box V 1.6 (© EVAN-society). Puis, en prenant en compte le consensus hommes, le consensus femmes, Regourdou 1, Tabun C1, Kebara 2 et le consensus néandertalien, les trois détroits ont été représentés en vues supérieure et latérale afin de comparer la morphologie moderne et la morphologie néandertalienne. Cette représentation a été faite à l'aide du logiciel R 2.13.1 (R Developpement Core Team 2011).

IV. Résultats

Notre recherche s'organise selon trois axes : la description de la ceinture pelvienne de Regourdou 1 (Figure 32), sa reconstruction virtuelle et son analyse obstétricale. Ces trois axes sont indissociables et nous verrons que les résultats de notre comparaison morphométrique des bassins néandertaliens et modernes serviront de base à notre réflexion sur les dimensions obstétricales du canal pelvien néandertalien.

Figure 32. La ceinture pelvienne de Regourdou 1
Vue antérieure ; photographie V.Meyer et B. Maureille

IV.1. Description morpho-métrique des restes pelviens de Regourdou 1

Nous avons réalisé cette description en deux temps : une description morphologique (Meyer *et al.* 2011a) et, pour compléter nos résultats et vérifier certaines hypothèses, une

description métrique, basée sur la comparaison des dimensions pelviennes de Regourdou 1 avec notre échantillon de comparaison moderne et néandertalien (Meyer *et al.* 2011b ; Meyer *et al.* 2011c).

IV.1.1. Description morphologique

La ceinture pelvienne est composée d'un sacrum incomplet qui s'articule avec les deux iliums fragmentaires droit et gauche, de l'ischium droit, de deux fragments d'ischium gauche et enfin d'une partie de la branche supérieure du pubis droit. La description morphologique des nouveaux restes permet de les intégrer à la population néandertalienne et de rediscuter les caractères autapomorphiques de la ceinture pelvienne de ce taxon.

IV.1.1.1. Le sacrum

Seuls les deux premières vertèbres sacrées et l'aileron droit de la troisième sont conservés (voir annexes, p. ii). En effet, l'os est brisé suivant une ligne oblique qui, antérieurement, va du bord supérieur du deuxième trou sacré gauche à l'extrémité inférieure de la surface auriculaire droite (Figure 33). Cette pièce est particulièrement bien conservée et ne présente aucune fracture ou déformation. Elle montre une usure marquée ainsi qu'une « patine » particulière, probablement due à l'application d'un produit consolidant dans le cadre d'une opération de moulage (D. Armand, com. pers.).

Face antérieure

Le sacrum est hypobasal[31]. On remarque que les ailerons sacrés (*ala sacralis*) sont peu étalés latéralement ce qui induit une étroitesse de l'os (104 mm de large) qui est incluse dans la variabilité moderne (Been *et al.* 2010 ; (Tague 1989). Par ailleurs, l'aileron gauche est nettement plus développé, latéralement et antéropostérieurement que le droit (Figure 34).

[31] Un sacrum est dit hypobasal (par opposition à hyperbasal et homobasal) lorsque la surface vertébrale de la base est située au dessus des ailerons sacrés.

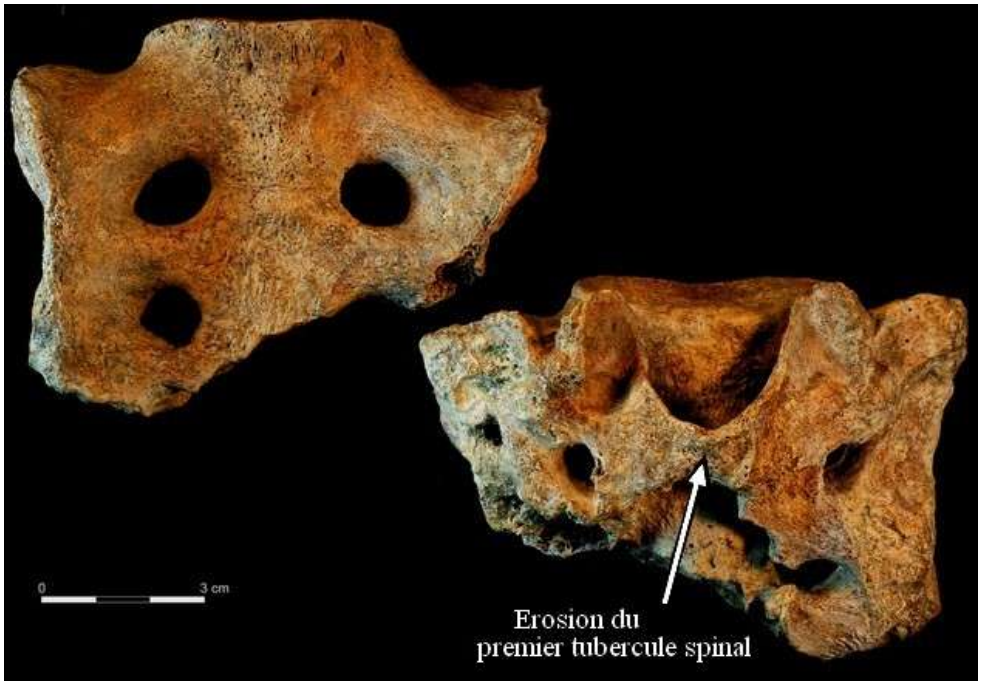


Figure 33. Vue antérieure et postérieure du sacrum de Regourdou 1.

La base du sacrum (*basis ossis sacri*) et le promontoire (*promontorium*) montrent une morphologie moderne (Figure 34). Les crêtes transversales (*pars lateralis*) sont peu visibles car très usées. La première vertèbre est plus épaisse que la deuxième. Les premiers foramens sacrés (*foramina sacralia anteriora*) sont plus importants que l'unique deuxième foramen observable. Notons aussi que la ligne de suture (*linea transversae*) entre la première et la deuxième vertèbre est encore visible (Figure 35). Cette persistance d'une ligne de suture est fréquente chez les adultes modernes (Soames 1995) mais caractérise plus particulièrement les adultes jeunes (Belcastro *et al.* 2008).

Figure 34. Base du sacrum de Regourdou 1, vue supérieure.

Face postérieure

Médialement, l'orifice supérieur du canal sacré (*canalis sacralis*) est marqué et profondément ouvert vers le bas. Le premier tubercule spinal est absent en raison de l'érosion générale de l'os (Figure 33). La crête spinale (*crista sacralis mediana*) est brisée en dessous de ce tubercule.

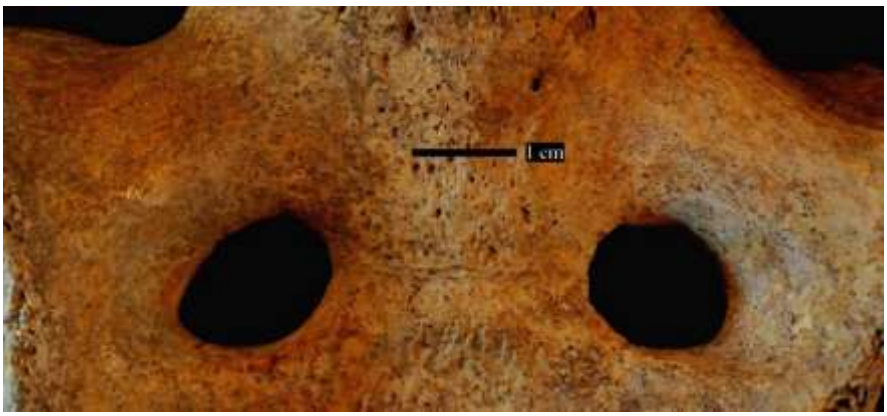


Figure 35. Détail de la face antérieure du sacrum de Regourdou 1 : absence de fusion entre S1 et S2.

Les processus articulaires (*processus articularis superior*) de la première vertèbre sont déformés et présentent un allongement antéro-postérieur. Le processus droit est cassé. Le tubercule transversal droit est assez développé, le gauche étant malheureusement érodé. Les tubercules sacrés postérieurs (*tuberositas sacralis*) ne sont pas observables car érodés. Les premiers foramens sacrés postérieurs (*foramina sacralia posteriora*) sont seuls visibles et ne présentent aucune caractéristique particulière.

Faces latérales

Seule la surface articulaire droite (*facies auricularis*) est complète (à gauche, la moitié inférieure est manquante). Elle est réniforme, à hile plutôt dorsal. La forte érosion de la région auriculaire empêche une description plus précise. On observe toutefois un sillon péri-auriculaire sur les deux surfaces (Figure 36). Il est placé antéro-inférieurement et est particulièrement remarquable à gauche.

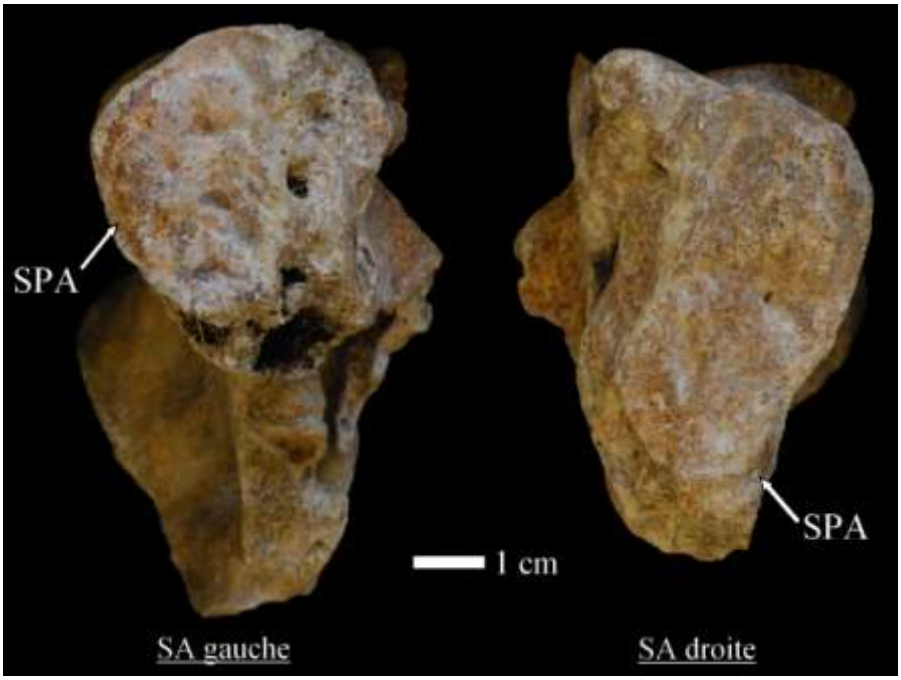


Figure 36. Vue latérale du sacrum de Regourdou 1, surfaces auriculaires droite et gauche.
SA : surface auriculaire ; SPA : sillon péri-auriculaire.

Base

La base ne présente aucun caractère particulier autre que l'asymétrie entre les ailerons droit et gauche déjà soulignée (cf. *supra*) ; (Figure 34). Néanmoins, en regardant le sacrum en vue supérieure, on observe, à nouveau, le développement important du canal sacré.

Le sacrum de Regourdou 1 ne présente aucun caractère morphologique permettant de le différencier d'un sacrum d'Homme moderne. L'ouverture du canal sacré est notable, sans s'éloigner de la variabilité moderne (Pirro *et al.* 2007). Il faut peut-être corréler cette ouverture profonde du canal sacré avec le hiatus sacré fortement ouvert observé chez certains Néandertaliens, comme Shanidar 1 et La-Chapelle-aux-Saints (Trinkaus 1983). Le canal sacré permet le passage de nombreux nerfs, dits fessiers (Lazorthes et Zadeh 1987) qui sont impliqués dans la locomotion (Zadeh *et al.* 1989).

IV.1.1.2. L'os coxal (*os coxae*) droit

L'os coxal droit de Regourdou 1 est représenté par un grand fragment d'ilium, l'ischium et un fragment de pubis (voir annexes, p. i).

L'ilium droit (Figure 37)

L'ilium droit a été retrouvé sous la forme de six fragments qui ont été assemblés. Il est particulièrement bien représenté dans sa partie centrale, l'aile (*ala ossis ilii*) et la crête iliaque (*crista iliaca*) ne sont pas préservées. On y observe de nombreuses cassures fraiches. La structure interne de l'os est intacte et pourra se prêter à des études plus poussées.

En raison de l'absence de l'aile, nous ne pouvons comparer celle-ci avec le corps de l'ilium (*corpus osis ilii*). Rak (Rak 1991b) a décrit l'ilium de Kebara 2, comme ayant une morphologie en champignon (« *mushroom-like appearance* » p. 147). Cette morphologie est due à un déséquilibre de taille entre le corps et l'aile de l'ilium (Rak 1991 ; Rak et Arensburg 1987). Dans le cas de Regourdou 1, il est donc impossible de rapprocher la morphologie de l'ilium de celle de Kebara 2, d'Amud 1 (Endo et Kimura 1970), dont la taille de l'ilium est moins disproportionnée par rapport à l'aile, ou encore de celle de La Ferrassie 1, très évasée (Heim 1982b). Toujours en raison de l'absence de l'aile, il est aussi difficile de discuter la profondeur de la fosse iliaque (*fossa iliaca*). Celle-ci semble relativement faible chez Néandertal : Tabun C1 est décrit comme assez plat par McCown et Keith (1939) ; les fosses iliaques de La Ferrassie 1 sont faiblement déprimées (Heim 1982b) ; les individus de Feldhofer 1 et Krapina 207 et 209 sont « légèrement concaves » (Heim 1982b) ; La-Chapelle-aux-Saints possède, selon Boule (1912), un iliaque plat. Cette caractéristique s'oppose à la profondeur marquée de la fosse iliaque chez l'Homme moderne (Soames 1995). Marchal (1997) note que cette profondeur va en s'intensifiant au cours de l'évolution. Il parle de fosse iliaque « *moyennement concave à très concave* » chez les Néandertaliens et souligne une concavité très marquée chez l'Homme anatomiquement moderne et particulièrement chez les sujets masculins (Marchal 1997 p. 105).

Figure 37. Fragment d'ilium droit de Regourdou 1

Faces interne (a.) et externe (b.).

Face externe

Toute la zone inférieure de l'aile est observable. La partie supérieure de la cavité cotyloïde (*acétabulum*), le bras supérieur et une partie du bras inférieur de la grande incisure ischiatique (*incisura ischiadica major*), la zone postérieure de la surface auriculaire (*facies auricularis*) tout comme l'épine iliaque antéro-inférieure (*spina iliaca anterior inferior*) sont présentes.

Au niveau de l'acétabulum, seule la partie iliaque du facies lunaire (*facies lunata*), adjacente à l'épine iliaque antéro-inférieure, est conservée. Elle est lisse, légèrement courbée et mesure environ 42,5 mm de long sur 34 mm de large. On n'observe ni la limite avec le fond de la cavité articulaire, ni le bord supérieur du facies lunaire. Néanmoins, la partie supérieure de l'acétabulum est observable et présente une gouttière bien marquée. Elle correspond à la zone d'insertion du chef réfléchi du muscle droit fémoral (*rectus femoris*). La présence de ce caractère a déjà été observé chez La-Chappelle-aux-Saints 1, Feldhofer 1, Amud 1 et La Ferrassie 1 (Heim 1982b) mais aussi chez Cro-Magnon (Trinkaus, comm.pers.), il est associé à une forte extension de la cuisse (Kamina 1995).

Cette hypothèse est confortée par la morphologie de l'épine iliaque antéro-inférieure (Figure 38). En effet, cette dernière est remarquablement puissante (sa longueur est de 29 mm ; son épaisseur est de 12 mm) et proéminente comparée à un bassin moderne. Or, elle correspond à l'insertion du chef direct du muscle droit fémoral (*rectus femoris*), ce qui implique encore une musculature puissante. Par ailleurs, cette épine est orientée vers l'intérieur de la cavité pelvienne. La profondeur inter-épine (entre les deux épines iliaques antérieures), qui peut permettre d'évaluer la puissance de l'épine antéro-inférieure n'est pas mesurable, dans la mesure où l'épine antéro-supérieure (*spina iliaca anterior superior*) est absente. Cette profondeur est évaluée à 16,5 mm chez Kebara 2 (Rak 1991). D'après la synthèse de la morphologie pelvienne des Néandertaliens selon Marchal (Marchal 1997), l'épine iliaque antéro-inférieure est bien séparée de l'acétabulum, massive et présente une déviation marquée, particulièrement chez La-Chapelle-aux-Saints, Kebara 2, Feldhofer 1 et Tabun C1. Ce caractère se retrouve aussi chez Kebara 2 (Rak et Arensburg 1987 ; Rak 1991b) ou Krapina (Radovcic *et al.* 1988). Chez Amud 1, l'épine iliaque a une massivité qui

dépasse celle des autres Néandertaliens (Endo et Kimura 1970). Les auteurs soulignent la déviation médiale et notent qu'elle n'est pratiquement pas observable chez l'Homme moderne (Endo et Kimura 1970, p. 301). Cette morphologie est observée sur d'autres spécimens du milieu du Pleistocène, comme Pelvis 1, Arago 44 (Sigmon 1982) ou OH 28 (Day 1971).

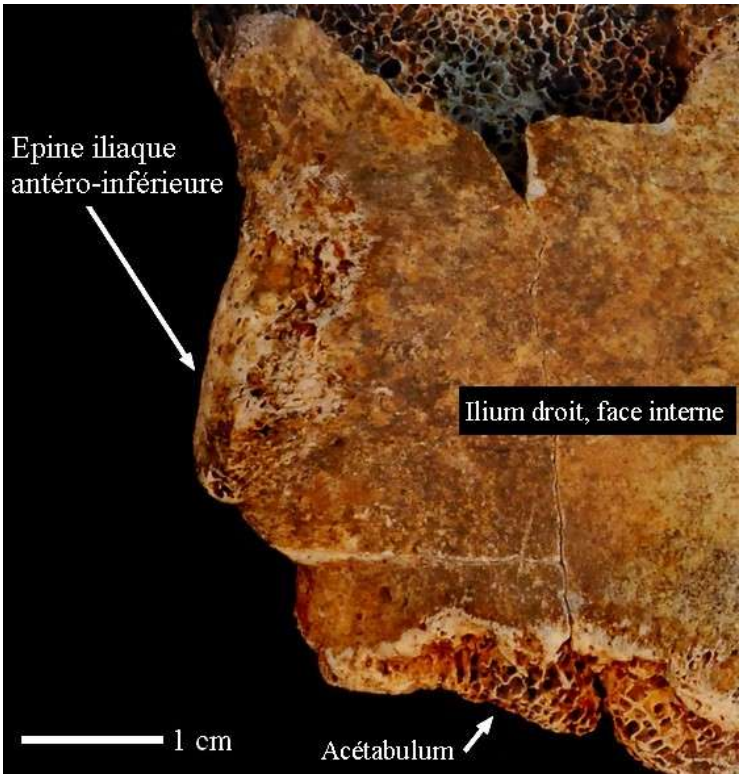


Figure 38. Détail de l'ilium droit de Regourdou 1 : l'épine iliaque antéro-inférieure.

Entre l'acétabulum et l'épine iliaque antéro-inférieure, on note une fosse, là où se situe l'insertion du ligament ilio-fémoral (*ligamentum iliofemorale*). Au dessus de l'acétabulum, la ligne glutéale inférieure (*linea glutealis inferior*) est très rugueuse. Cela pourrait indiquer la présence d'un muscle petit fessier puissant (*gluteus minimus*).

Le pilier iliaque n'est pas observable, en raison de la cassure de l'os en face antérieure qui empêche d'évaluer l'épaisseur de l'aile. La position et l'épaisseur de ce pilier ont été discutées par Endo et Kimura (1970), par McCown et Keith (1939) ou par Vandermeersch (1981). Notons que Trinkaus, en 1984, observe que ce pilier est plus faiblement développé chez l'Homme de Néandertal que chez l'Homme anatomiquement moderne. C'est aussi la conclusion de Marchal (1997 p. 100) qui note que le pilier iliaque des Néandertaliens est

« *moyennement développé, en position antérieure et oblique sur l'aile* ». Cette observation rejoint l'étude de Vandermeersch (1981, p. 236) sur les hommes de Qafzeh : le pilier iliaque, bien observable sur Qafzeh 9 est en arrière, tandis que le pilier sur le bassin néandertalien est en position plus avancée. Cette position antérieure peut être mise en relation avec la longueur du pubis et la position plus dorsale de l'ilium (Wolpoff 1999 ; Rosenberg 2007) et n'a donc pas d'incidence sur la locomotion. Malgré cela, la structure interne du pilier néandertalien, principalement composé d'os trabéculaire (et non d'os cortical comme chez *Homo erectus*), est similaire au schéma moderne (Trinkaus 2011, 2012).

Face interne

La partie inférieure de l'ilium est seule représentée, avec la ligne arquée (*linea arcuata*), la surface auriculaire et l'épine iliaque antéro-inférieure.

La ligne arquée est bien délimitée, ce qui provoque une angulation importante entre la fosse iliaque et la surface quadrilatère. La frontière entre le petit bassin (le canal pelvien) et le grand bassin (l'ensemble du bassin) est donc bien marquée. L'ilium est particulièrement puissant au niveau de cette ligne, caractère déjà observé chez Kebara 2 (Rak 1991) et La Ferrassie 1 (Heim 1982). On peut en mesurer l'épaisseur au niveau de l'incisure ischiatique : environ 35 mm chez Regourdou 1 contre 25 mm pour Kebara 2 (Rak 1991) et 22,4 mm[32] en moyenne chez l'Homme anatomiquement moderne (Figure 39).

L'insertion du muscle iliaque (*iliacus*) est bien creusée. Il s'insère aussi sur l'épine iliaque antéro-inférieure qui, comme précisé précédemment, est très robuste. Il semblerait donc qu'en général, les muscles de la région ilio-fémorale soient puissants. Sur la face interne de l'épine iliaque antéro-inférieure, une fossette est observable. Elle a déjà été décrite chez La-Chapelle-aux-Saints 1, Feldhofer 1, Amud 1 (Boule 1912 ; Heim 1982b) et est à mettre en relation avec l'insertion du muscle droit fémoral (*rectus femoris*) ; (Heim 1982b).

[32] Dans notre échantillon de comparaison.

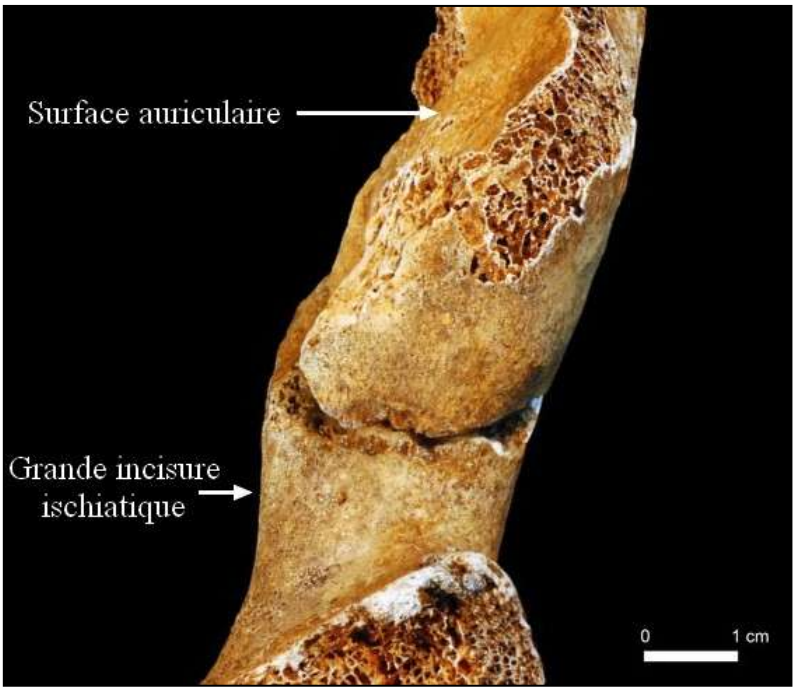


Figure 39. Détail de l'ilium droit de Regourdou 1 : la grande incisure ischiatique.

La région pré-auriculaire est bien conservée, sauf au niveau de sa partie médio-dorsale où la corticale est « dénudée ». Il n'y a aucune trace de sillon pré-auriculaire ni de sillon para-glénoïdaire. L'épine iliaque postéro-inférieure (*spina iliaca posterior inferior*) n'est pas observable. L'os est fragmenté entre la région pré-auriculaire et la surface auriculaire. Le bras antérieur de cette dernière est détérioré contrairement au bras postérieur. La surface est bien lisse et caractéristique d'un individu jeune (Schmitt 2005). L'érosion de la surface sacro-pelvienne de l'ilium nous empêche d'estimer l'âge au décès de l'individu suivant les méthodes établies par Schmitt (2005 ; Schmitt et Broqua 2000) ou Buckberry et Chamberlain (2002). Il est difficile d'évaluer la position de la surface articulaire, en raison de l'absence de la crête et de l'état général de la région auriculaire (*facies auricularis*). Cette position est variable chez l'Homme de Neandertal : décrite comme haute chez Kebara 2 ou Feldhofer 1 (Marchal 1997), basse chez La-Chapelle-aux-Saints (Boule 1912).

La grande incisure ischiatique est incomplète. Il est donc difficile de statuer sur son étroitesse ou sa profondeur. Néanmoins, le bras postérieur et la portion de bras antérieur présents nous permettent d'observer que l'incisure est plutôt étroite. Chez les autres Néandertaliens, la morphologie de l'incisure est très variée, à l'image de ce qu'on observe

dans la population moderne. Chez Amud 1, elle est remarquablement large mais normalement profonde, proche de la morphologie de Feldhofer 1 (Endo et Kimura 1970). Chez Tabun C1, elle est large, très ouverte et peu profonde (McCown et Keith 1939), et est fermée chez Kebara 2 (Rak 1991b) Enfin, chez La Ferrassie 1, Heim (1982) souligne qu'elle est étroite, profonde et que son bord antérieur est « rectiligne » (p. 100). Cela n'a pas pu être observé sur le coxal droit de Regourdou 1, toute une partie de ce bras, jusqu'à l'épine sciatique, étant absente. Nous verrons qu'il n'en va pas de même pour le coxal gauche.

L'ischium droit

Un ischium presque complet est associé au coxal droit de Regourdou 1 : on observe la partie inférieure de l'acétabulum, le corps de l'ischium (*corpus ossis ischii*) et la tubérosité ischiatique (*tuber ischiadicum*) ; (Figure 40). Il manque la partie ischiatique de la branche ischio-pubienne (*ramus ossis ischii*) et l'épine sciatique (*spina ischiadica*). L'os est remarquablement robuste. La cassure de ce fragment au niveau de l'acétabulum pourrait correspondre à la zone d'ossification, peut-être encore fragile à l'âge de l'individu (Scheuer et Black 2000) ; par ailleurs, la tubérosité est complète. L'os présente une usure remarquable, qui peut être due à un traitement post-fouille particulier. Ainsi, on observe de nombreuses traces qui pourraient être la conséquence de moulages (E. Pubert *com. pers.*).

Face externe

La tubérosité ischiatique est massive. En vue postéro-interne, elle présente une dépression marquée qui correspond à l'insertion du muscle biceps fémoral (*biceps femoris*) et bien visible sur la Figure 41. Cette dépression est à mettre en relation avec la puissante rugosité en position supéro-externe, où s'insère le muscle semi-membraneux. Rappelons que dans sa description de La Ferrassie 1, Heim (1982) remarque aussi la puissance de cette insertion. Bien que moins marquées, les insertions des muscles semi-tendineux (semitendionosus) et grand adducteur (*adductor magnus*) sont fortes. La crête transverse est peu marquée et se présente sous la forme d'une concavité mousse, tandis que la crête longitudinale est très marquée. Cette morphologie est déjà décrite chez Kebara 2 par Rak (1991).

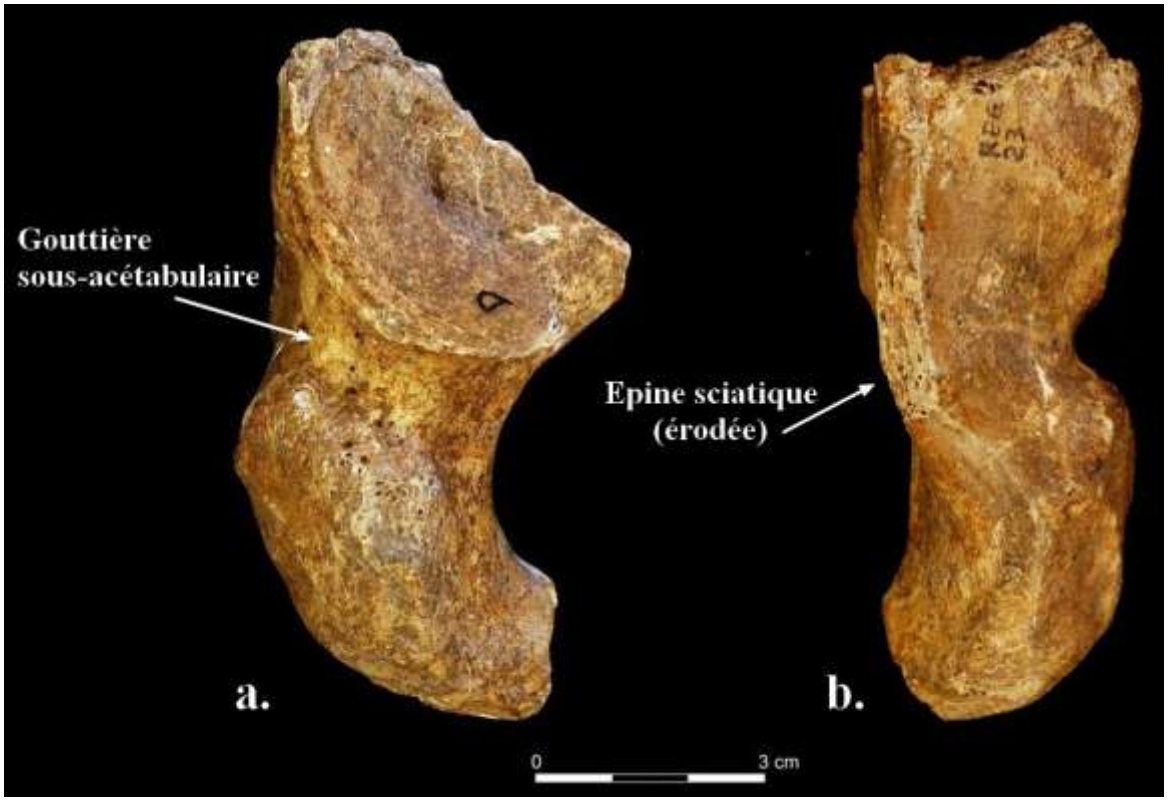


Figure 40. Fragment d'ischium droit de l'individu Regourdou 1.
a. vue externe, b. vue postérieure. On note la gouttière sous-acétabulaire, ou sillon sous-cotyloïdien.

En ce qui concerne la position et la morphologie du sillon du muscle obturateur interne (*obturator internus*), Trinkaus (1996) a souligné la variabilité importante de cette région morphologique chez les Néandertaliens et les Hommes anatomiquement modernes. Dans le cas présent, le sillon est en position craniale (ou postéro-supérieure), passant entre la tubérosité et l'épine ischiatique. Supérieurement, l'insertion du muscle carré fémoral (*quadratus femoris*) est marquée par une protubérance dans la continuité de la tubérosité.

La partie postérieure de l'acétabulum est observable. La partie postéro-inférieure de la surface lunaire est saillante et bien en relief sur la partie supérieure à la tubérosité. La gouttière sous-acétabulaire est profonde, caractéristique commune à Regourdou 1, La Ferrassie 1 (Heim 1982), Feldhofer 1, La-Chapelle-aux-Saints (Boule 1912) et Krapina (Gorjanovic-Kramberger 1906). Cela doit être lié avec l'insertion du muscle obturateur externe (*obturator externus*). En son milieu, on observe une dépression plus ou moins circulaire, qui pourrait être, d'après F. Marchal (comm. pers.), la zone d'insertion de la racine postérieure du ligament rond. La surface rétro-cotyloïdienne est plane, plus étroite que chez

l'Homme moderne. Cette étroitesse serait apparemment une caractéristique du pelvis néandertalien (Marchal 1997), hypothèse que nous allons tester grâce à l'analyse de la mesure SIS (voir p. 120) qui correspond à cette dimension. De nombreux foramens nourriciers (une dizaine environ) sont observables au niveau de la zone tubéro-acétabulaire.

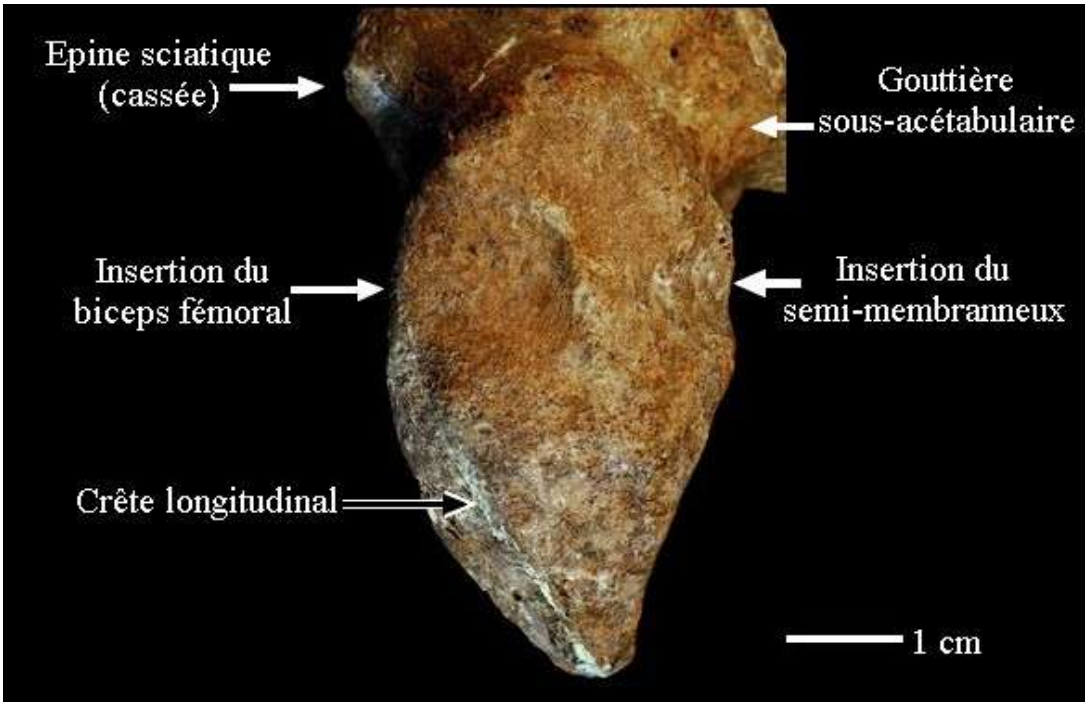


Figure 41. Détail de l'ischium droit de Regourdou 1 : la tubérosité ischiatique.

Face interne

L'épine sciatique est cassée, mais on peut observer néanmoins que sa base est puissante. La surface quadrilatère est vaste et légèrement concave. La tubérosité produit un bourrelet osseux conséquent, qui correspond ici à l'insertion du ligament sacro-tubéral (*sacrotuberale*).

Le pubis

Parmi les pièces isolées, on trouve un fragment de branche supérieure du pubis (Figure 42). Nous l'avons localisé à droite en raison de la position du pecten (*pecten ossis pubis*) et de la forme de la section de l'os. Ce fragment est assez massif et montre un pecten bien marqué qui marque une insertion puissante du ligament pectiné (*pectineum*).

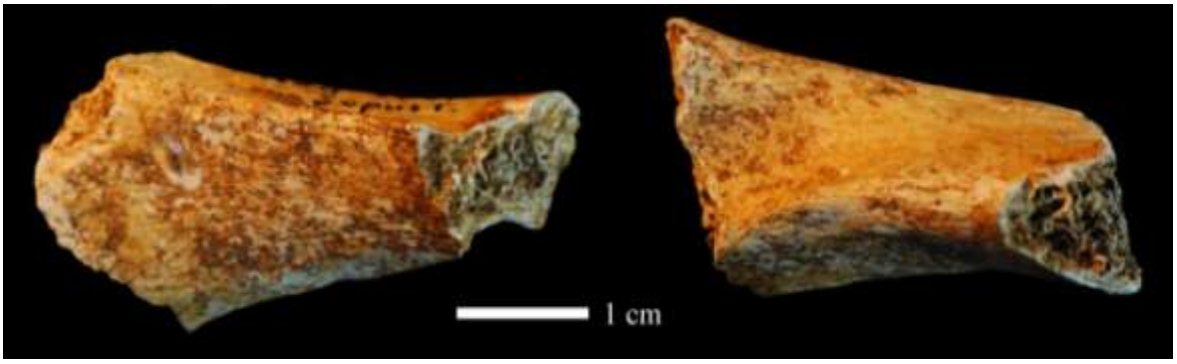


Figure 42. Fragment de pubis droit de Regourdou 1.
Vue externe (à gauche) ; vue inférieure (à droite)

Le pubis néandertalien est caractérisé par une élongation de la branche supérieure (*ramus superior ossis pubis*) marquée par rapport aux hommes modernes (Trinkaus, 1976, 1982, 1984 ; Stewart, 1960 ; Rak 1990, 1991, Marchal, 2000) et par une section particulière : la branche supérieure du pubis présente en effet un important aplatissement supéro-inférieur (Trinkaus, 1976 ; Rak, 1990). Si nous ne pouvons discuter de la longueur du pubis de Regourdou 1, le fragment étant trop court, sa section a pu être décrite (Figure 43). On retrouve la morphologie typique des pubis néandertalien : un amincissement supéro-inférieur. Notons la similitude entre la section transverse du pubis de Kebara 2, Shanidar 1 et celle de Regourdou 1 : on retrouve bien chez ce dernier la structure en « T couché » décrite sur les premiers par Marchal (1997, p. 142 ; 2000).

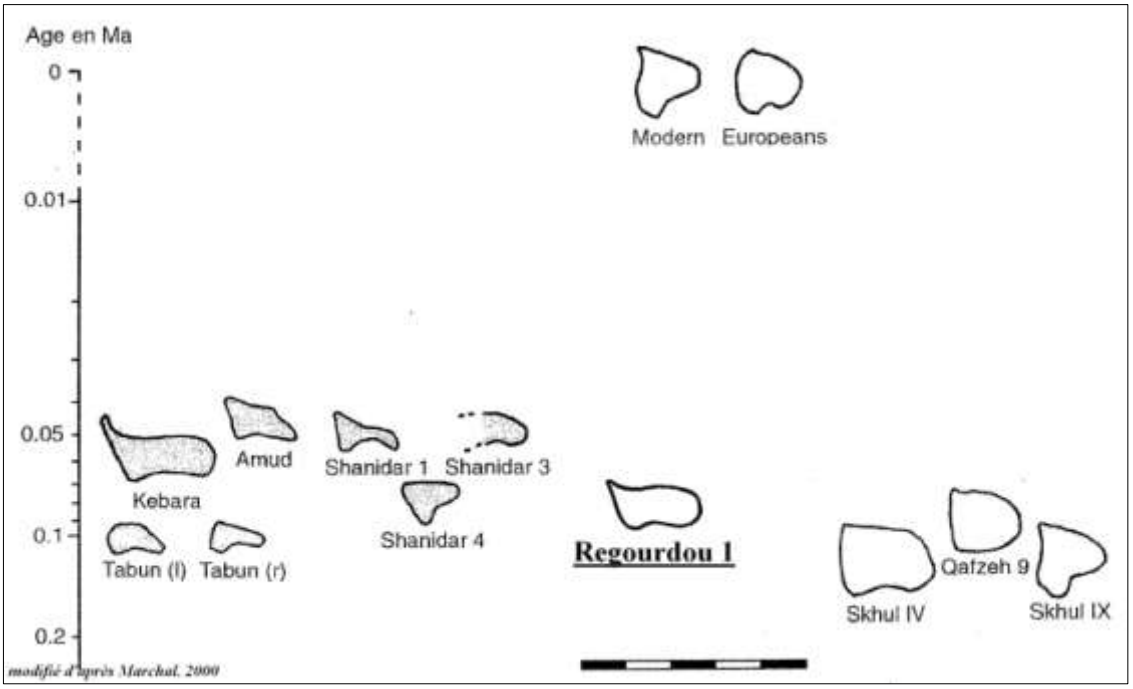


Figure 43. Comparaison des sections transverses de la branche supérieure du pubis chez les Néandertaliens et les Hommes anatomiquement modernes.

Modifiée d'après Marchal 2000 et Rak 1990. Nous n'avons pas d'informations sur la zone où est prise la section et nous ne savons donc pas avec certitude si le fragment de pubis de Regourdou 1 correspond à cette zone.

IV.1.1.3. L'os coxal (*os coxae*) gauche

L'os coxal gauche de Regourdou 1 est représenté par un fragment d'ilium, associé à deux fragments d'ischium.

L'ilium gauche (Figure 44)

L'ilium gauche est bien représenté, mais la cavité acétabulaire est plus fragmentée qu'à droite. Il est reconstitué à partir de deux fragments. Comme à droite, la structure interne de l'os est bien conservée et pourra faire l'objet d'une étude ultérieure. De nombreuses cassures fraîches sont observables.

Figure 44. Fragment d'ilium gauche de Regourdou 1.

Faces externe (a.) et interne (b.).

Face externe

Toute la partie inférieure de l'aile est conservée. Le fond de la grande incisure ischiatique est intact, seules les extrémités des bras supérieurs et inférieurs sont endommagées. Sur ce coxal, nous sommes donc en mesure d'évaluer la morphologie de cette incisure. Elle est profonde, étroite et surtout asymétrique (Figure 45). C'est une morphologie masculine (Bruzek 2002), mais nous avons vu (voir p. 57) qu'il n'est pas possible de déterminer le sexe d'un individu à partir de la seule morphologie de l'incisure ischiatique. Nous reviendrons sur la détermination du sexe de Regourdou 1 lors de notre discussion.

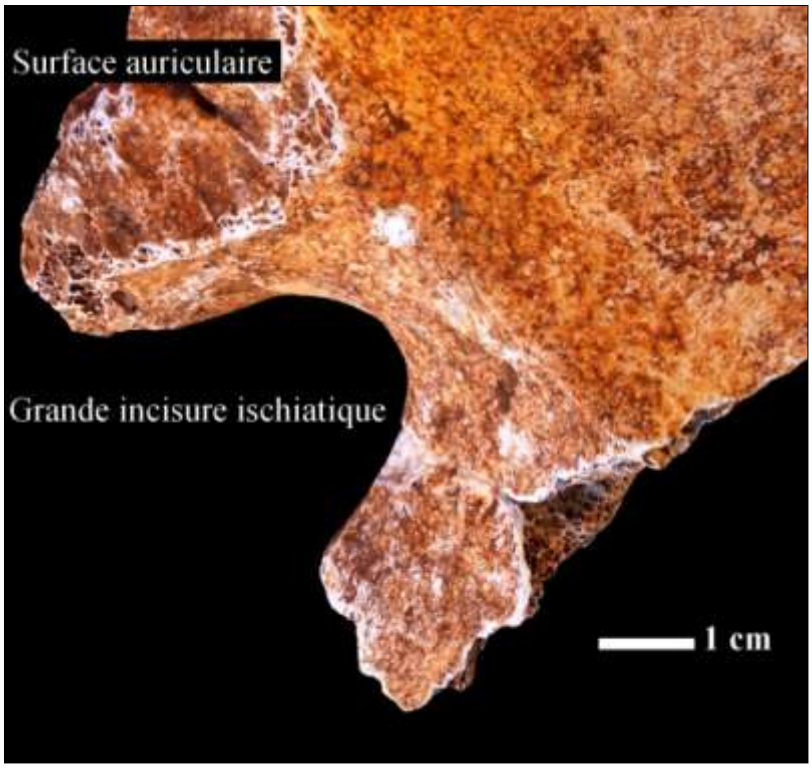


Figure 45. Coxal gauche de Regourdou 1 : la grande incisure ischiatique.

L'ensemble de l'os a le même aspect très puissant qu'à droite. La ligne glutéale inférieure est marquée, on y retrouve les rugosités indiquant une insertion puissante du muscle petit fessier. Peu de caractères particuliers sont observés sur cette face, qui présente les mêmes caractéristiques générales que celles de l'ilium droit.

Face interne

L'ilium est conservé de la surface auriculaire jusqu'à l'épine iliaque antéro-inférieure, dont l'extrémité est absente.

La profondeur de la fosse iliaque est peu marquée. La ligne arquée est très prononcée, on retrouve l'angulation importante entre le plan de la fosse iliaque et celui de la surface quadrilatère. La surface auriculaire est très bien conservée. Elle est très large et irrégulière. On y observe particulièrement une fente en son milieu. L'origine de cette fente est douteuse, elle pourrait être d'origine taphonomique ou liée à l'ossification incomplète du cartilage de la surface auriculaire (Scheuer et Black 2000). Si tel est le cas, cela nous permettrait de confirmer que Regourdou 1 est un jeune adulte. Une dépression bien marquée (différente d'un sillon préauriculaire) est présente sur la surface pré-auriculaire. On peut la rapporter à l'insertion du ligament sacro-iliaque ventral. La grande incisure ischiatique est relativement fermée et symétrique, ce qui indiquerait un individu masculin (Bruzek 2002). La bordure antérieure de la surface auriculaire et le bras antérieur de la grande incisure forment un arc composé (Genovés 1959).

L'ischium gauche

L'ischium est représenté par deux fragments isolés. Un fragment d'acétabulum et un fragment de tubérosité ischiatique (Figure 46 et Figure 47).

Figure 46. Fragment d'acétabulum gauche de Regourdou 1
a. la surface semi-lunaire, b. la gouttière sous-acétabulaire.

Un fragment d'acétabulum isolé est associé à l'ischium gauche. On y observe une douzaine de foramens nourriciers sous l'acétabulum. La « corne » inférieure de l'acétabulum est très proéminente, comme cela a déjà été observé sur l'ischium droit. La gouttière sous-acétabulaire est marquée mais on n'observe pas de dépression comme cela a été noté à droite. De nombreux foramens nourriciers sont observables au niveau de la cavité acétabulaire ainsi que de petites marques rouges, probablement d'origine taphonomique (D. Armand, com. pers.).

Seule la partie inférieure de la tubérosité est observable. Massive, elle présente les mêmes caractéristiques qu'à droite mais une usure importante nous empêche de décrire précisément les insertions musculaires. L'insertion du semi-membraneux est bien marquée. Aucune crête, longitudinale ou transverse, n'est observable. Le bourrelet de la tubérosité correspondant à l'insertion du ligament sacro-tubéral est présent et la zone rétro-tubérositaire présente à cet endroit une dépression ponctuée de petits foramens. L'insertion du carré-fémoral est marquée et plus saillante qu'à droite. En son milieu, la tubérosité présente une petite marque ronde, résultat d'une atteinte taphonomique.

Figure 47. Fragment de tubérosité ischiatique gauche de Regourdou 1.

La description morphologique des restes de la ceinture pelvienne de Regourdou 1 permet de franchir une première étape de notre travail. Nous avons pu mettre en évidence la présence, chez Regourdou 1, de traits déjà décrits sur d'autres bassins néandertaliens : la déviation médiale de l'épine iliaque antéro-inférieure, l'étroitesse de la surface rétro-cotyloïdienne, la profondeur de la gouttière sous-acétabulaire ou la finesse de la branche supérieure du pubis. Regourdou 1 se caractérise aussi par des traits relevant de la variabilité inter-individuelle, comme sa petite taille, l'asymétrie de son sacrum ou la morphologie de la gouttière de l'obturateur interne (en rapport avec l'orientation de la tubérosité ischiatique).

Cette première étape permet donc d'apprécier la variabilité de la morphologie pelvienne néandertalienne. De nouvelles informations sur sa variabilité métrique peuvent être apportées par l'analyse des dimensions du sacrum et des coxaux de Regourdou 1.

IV.1.2. Comparaison métrique du bassin Regourdou 1 avec un échantillon néandertalien et un échantillon moderne

L'analyse métrique a été réalisée à partir de mesures qui correspondent à l'état taphonomique de Regourdou 1. Elles sont peu utilisées en anthropologie biologique. Une analyse de l'incertitude associée à ces mesures a donc été conduite.

IV.1.2.1. Incertitude inter et intra-observateur

L'ensemble des incertitudes intra-observateur (voir la méthode, p. 126) concernant les mesures prises sur le coxal sont inférieures à 2 mm (Tableau 11). La plus grande incertitude concerne la longueur anatomique de l'ischium (LAI) avec une erreur de ±1,65 mm. La répétabilité des mesures est bonne. L'ensemble des coefficients de variation est inférieur à 0,15 ce qui témoigne d'une bonne homogénéité des mesures selon les différentes prises. Dans le cas du sacrum, toutes les incertitudes sont en dessous du millimètre. La répétabilité des mesures est donc très bonne. Par ailleurs, les mesures sont très homogènes, avec des coefficients de variation compris entre 0,0 et 0,05 (Tableau 11).

L'incertitude inter-observateur est plus importante mais reste inférieure à 2 mm, que ce soit pour le coxal ou le sacrum (Tableau 11). L'erreur relative met en évidence toutefois une augmentation de l'incertitude, avec notamment une valeur de près de 10% pour l'erreur relative de la mesure de l'épaisseur de l'os au niveau de la surface auriculaire. Les mesures sont relativement homogènes, comme le montrent les coefficients de variation compris entre 0,01 et 0,09, soit légèrement supérieurs à ce que nous avons obtenu pour l'erreur intra-observateur.

Tableau 11. Incertitude intra et inter observateur des mesures prises sur a. le coxal et b. le sacrum

	Erreur intra-observateur			Erreur inter-observateur		
a. Coxal	Erreur globale (mm)	Erreur relative	Coefficient de variation	Erreur globale (mm)	Erreur relative (mm)	Coefficient de variation
Hauteur de la surface lunaire	1,16	3,90	0,04	1,27	4,59	0,08
Épaisseur de l'EIAI	0,42	4,20	0,04	0,62	6,50	0,06
Longueur de l'EIAI	1,50	4,90	0,05	1,32	5,41	0,09
Épaisseur de l'os à la ligne arquée	0,63	3,10	0,03	1,59	7,82	0,08
Longueur horizontale de la SA	1,63	4,70	0,03	1,45	4,32	0,06
Longueur verticale de la SA	1,18	2,10	0,02	1,36	2,51	0,04
Épaisseur de l'os à la SA	0,91	4,50	0,04	1,84	9,71	0,09
Longueur spino-sciatique	1,13	1,60	0,01	0,81	1,19	0,01
Longueur spino-auriculaire	1,46	1,90	0,01	0,84	1,11	0,01
Longueur de la tubérosité isch.	1,51	2,50	0,01	0,97	1,60	0,04
Largeur de la tubérosité isch.	1,23	4,00	0,01	0,48	1,78	0,04
Puissance de l'ischium	0,27	0,80	0,01	0,56	1,59	0,01
Longueur anat. de l'ischium	1,65	2,20	0,02	1,79	2,45	0,05

	Erreur intra-observateur			Erreur inter-observateur		
b. Sacrum	Erreur globale (mm)	Erreur relative	Coefficient de variation	Erreur globale (mm)	Erreur relative (mm)	Coefficient de variation
Largeur du sacrum	0,39	0,30	0,00	0,34	0,30	0,00
Largeur aileron droit	0,76	1,40	0,01	1,11	1,99	0,02
Largeur aileron gauche	0,67	1,20	0,01	1,44	2,60	0,03
Diam.transverse du corps	0,46	0,90	0,01	1,23	2,60	0,03
Diamètre AP du corps	0,40	1,30	0,05	0,55	1,85	0,02
Hauteur de la SA sacrée	0,90	1,60	0,01	1,22	2,21	0,03

L'erreur globale est en millimètres ; l'erreur relative et le coefficient de variation sont sans unité.

IV.1.2.2. La position de Regourdou 1 relativement à la variabilité moderne et néandertalienne : analyse de la distance probabiliste[33]

L'observation de la position des dimensions du bassin Regourdou 1[34] par rapport à la variabilité d'une population moderne (Figure 48) permet de confirmer certaines observations morphologiques et apporte aussi de nouvelles informations. Les dimensions du coxal et du sacrum de Regourdou 1 se situent généralement dans la variabilité moderne. On note que la ceinture pelvienne est plutôt de petite taille et que les dimensions dans la partie haute de la variabilité moderne sont surtout des dimensions qui traduisent la « puissance » et l'épaisseur de l'os, comme par exemple l'épaisseur de l'os au niveau de la surface auriculaire (EpSA). Chez les variables linéaires, seule cette mesure et la longueur de l'aileron droit (LAD) ont un ERA>1 ou <-1.

La petite taille du sacrum de Regourdou 1 est évidente (Figure 48). La majorité des ERA est concentrée dans la partie négative du graphique. Cette petite taille, conjuguée à l'asymétrie décrite précédemment explique la position hors-variabilité de l'aileron droit. En raison de l'asymétrie du sacrum, l'aileron droit est petit par rapport aux autres dimensions de l'os. Or, cet os est petit par rapport à la variabilité moderne. Cela explique donc que la longueur de l'aileron droit de Regourdou 1 soit hors de la variabilité moderne. Cette asymétrie explique aussi l'ERA des indices entre la longueur de l'aileron droit et celle de l'aileron gauche (I_{adag}) ainsi qu'entre la longueur de l'aileron droit et la largeur du sacrum (I_{ad}). Ils sont inférieurs à -1, ce qui témoigne d'indices très petits par rapport à la variabilité moderne.

Nous avons vu que la largeur de la surface rétro-acétabulaire (qu'on peut assimiler à la puissance de l'ischium) semble plus étroite chez Regourdou 1 que chez l'Homme anatomiquement moderne (voir p. 168). L'ERA de la variable SIS est proche de -1 ; de la même façon, l'indice mettant en rapport cette puissance avec la longueur de l'ischium (I_{isch}), bien que dans la variabilité moderne, est très petit, comme l'indique un ERA proche de -1 ;

---

[33] Rappels : le calcul de l'écart réduit ajusté, désigné ensuite par l'acronyme ERA, permet d'analyser la distance probabiliste d'un individu à une population. C'est une variable comprise entre -1 et 1. Plus l'ERA est proche de 0, plus l'individu est proche de la moyenne de la population. Un ERA > 1 ou < -1 indique que cet individu plus grand ou plus petit que la limite traduisant 95% de la variabilité de cette population.

[34] Dans le cas de Regourdou 1, toutes les mesures définies sur le coxal (sauf les longueurs des bras de la surface auriculaire) ont été prises sur le coxal droit.

inversement, l'indice mettant cette puissance en rapport avec l'épaisseur de l'os au niveau de la ligne arquée (I_{la-i}) est bien supérieur à la moyenne, hors variabilité (ERA > 1). Cela nous indique que cette puissance est très faible par rapport à la moyenne moderne, notamment quand on la considère relativement à d'autres variables traduisant la puissance générale de l'os. Cela confirme nos observations visuelles. Chez Regourdou 1, malgré une puissance observée sur l'os (insertions musculaires, épaisseur marquée au niveau de la surface auriculaire ou de la ligne arquée), l'ischium présente une surface rétro-acétabulaire étroite.

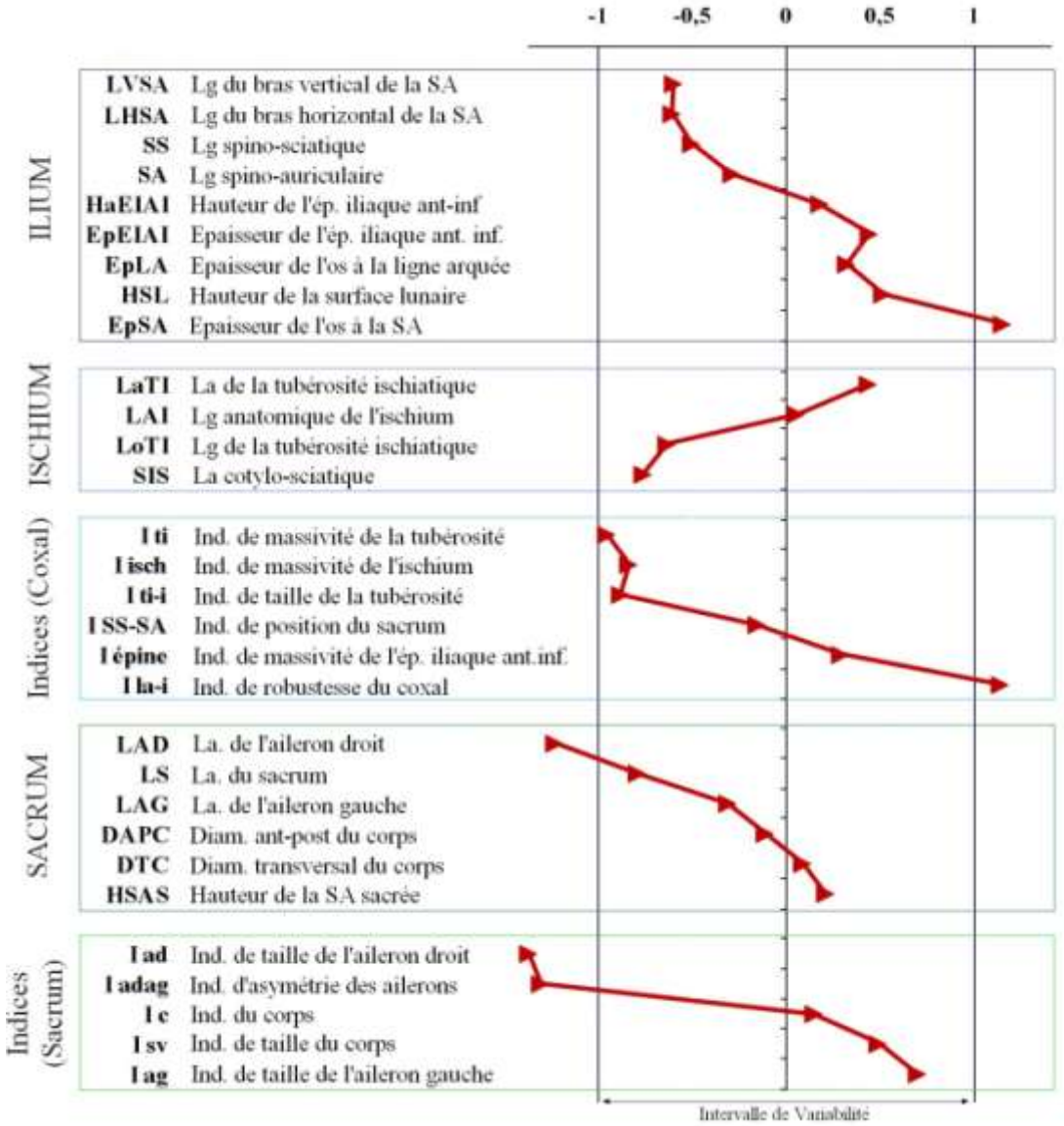


Figure 48. Analyse de la distance probabiliste entre Regourdou 1 et une population moderne.
La : larger ; Lg : longueur ; SA : surface auriculaire ; ép. iliaque ant-inf : épine iliaque antéro-inférieure ; diam. : diamètre ; ant-post : antéropostérieur

La longueur de la tubérosité ischiatique (LoTI) est petite par rapport à la variabilité moderne (ERA proche de -1) et les indices la prenant en compte montrent que la tubérosité est plus courte par rapport aux autres dimensions du coxal (I_{ti} et $I_{ti\text{-}i}$ ont aussi un ERA proche de -1) que ce qu'on observe dans la population de référence. On peut donc en conclure qu'en ce qui concerne la morphologie de la tubérosité ischiatique, Regourdou 1 est bien différent de la morphologie moderne : sa tubérosité est aussi large mais plus courte que ce que nous observons dans notre échantillon.

Certaines de ces dimensions, bien que ne portant pas directement sur le canal pelvien de Regourdou 1, pratiquement inexistant, nous apportent des informations sur ce dernier. Par exemple, les dimensions spino-sciatique (SS) et spino-auriculaire (SA) nous renseignent sur la position du sacrum par rapport au canal pelvien. Ici, la différence entre SS et SA est négative ($SS - SA < 0$), la surface auriculaire est plus postérieure et le fond de l'échancrure sciatique est plus antérieur. D'après Gaillard, cette morphologie est à mettre en relation avec la présence d'un arc composé de Genoves (Gaillard 1960), soit une morphologie féminine. Par ailleurs, la petite taille du sacrum, associée à la petite taille générale des coxaux peuvent être les indices d'un canal pelvien de petite dimension. Notre analyse confirme enfin l'influence de l'asymétrie du sacrum sur les dimensions de celui-ci : on peut donc envisager une répercussion de cette asymétrie à l'échelle du canal pelvien.

Pour étudier les caractéristiques métriques propres au bassin Regourdou 1, nous avons pris en compte plusieurs spécimens appartenant à la population néandertalienne (Figure 49). Nous avons fait la moyenne de leurs dimensions linéaires et indices, que nous avons comparée, avec Regourdou 1, à l'échantillon actuel (voir Annexes, p. vi). Dans l'ensemble, les dimensions de Regourdou 1 reproduisent le même schéma que la moyenne des Néandertaliens. Par exemple, l'épaisseur de la surface auriculaire (EpSA) est hors de la variabilité moderne chez Regourdou 1 comme chez la moyenne néandertalienne (ERA > 1). Une épaisseur importante de l'os coxal au niveau de la surface auriculaire est donc être un caractère commun aux Néandertaliens. La faible puissance de l'ischium (SIS), nette chez Regourdou 1, l'est aussi chez les Néandertaliens [$ERA \approx -1$ pour la variable SIS et l'indice

I_{isch} ; $ERA > 1$ pour l'indice $I_{la\text{-}i}$ (Figure 49)]. L'étroitesse de la surface rétro-cotyloïdienne chez les Néandertaliens est confirmé par l'analyse métrique. De la même façon, bien qu'elle soit plus large que la moyenne néandertalienne (variable LaTI), la tubérosité ischiatique de Regourdou 1 a une morphologie similaire à celle des autres individus néandertaliens (en moyenne), avec une tubérosité relativement large par rapport à la morphologie moderne ($ERA\ (Iti) \approx -0{,}7$).

L'ensemble des données linéaires des Néandertaliens (sauf EpSA et $I_{la\text{-}i}$) se situe au sein de la variabilité moderne. Concernant nos variables, il n'y a donc pas d'importantes différences entre le bassin néandertalien et le bassin moderne, la morphologie pelvienne globale de ces deux populations est similaire. Ce résultat est cohérent, étant donnés l'appartenance des Néandertaliens au genre *Homo*, leur poids et stature comparables à ceux de l'Homme anatomiquement moderne et enfin leur mode de locomotion identique au nôtre.

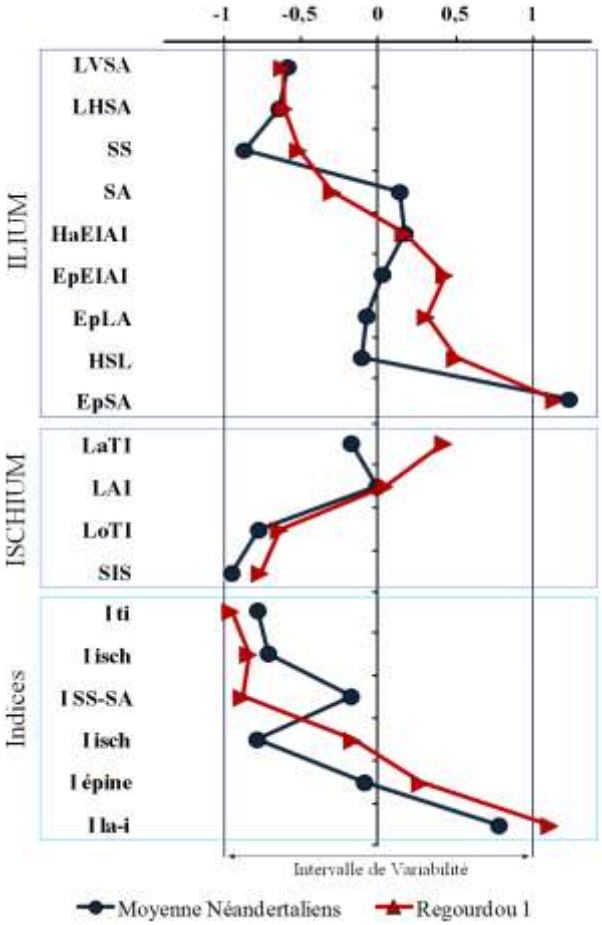


Figure 49. Analyse de la distance probabiliste entre les coxaux néandertaliens et la population moderne de référence

(Références des mesures, voir Figure 48)

Nous avons construit ce diagramme à partir de la moyenne des données néandertaliennes. Quand on analyse l'ensemble des spécimens néandertaliens de notre analyse (voir annexe), on note la présence d'une indéniable variabilité.

En ce qui concerne les dimensions du sacrum, Regourdou 1 suit le même schéma que la moyenne néandertalienne, sauf pour les variables concernant l'aileron droit (Figure 50). Nous avons vu que l'asymétrie du sacrum de Regourdou 1 a pour conséquence un petit aileron droit par rapport à la variabilité moderne ; c'est aussi le cas par rapport à la variabilité néandertalienne. Par conséquence, l'ensemble des indices prenant en compte la longueur de cet aileron sont plus petits chez Regourdou 1 que la moyenne néandertalienne ; de la même façon, l'indice I_{ag} est plus important chez Regourdou 1, son aileron gauche étant plus grand par rapport à la largeur totale du sacrum que ce qu'on observe en moyenne chez les Néandertaliens.

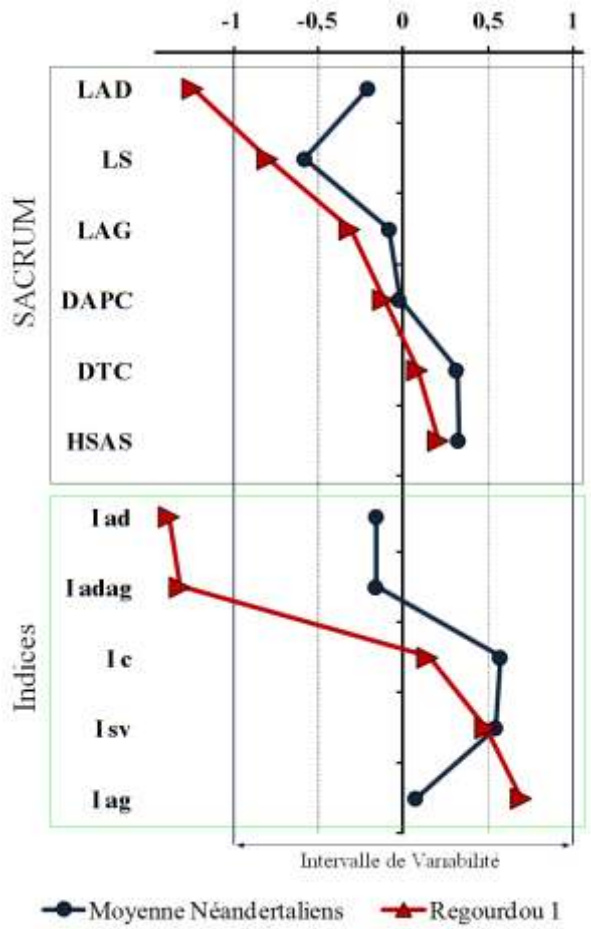


Figure 50. Analyse de la distance probabiliste entre les sacrums néandertaliens et la population moderne de référence.

(Références des mesures, voir Figure 48)

Nous avons vu que, globalement, Regourdou 1 suit le même schéma que la moyenne néandertalienne, par rapport à l'échantillon moderne. Nous avons voulu vérifier la position de Regourdou 1 au sein de la variabilité néandertalienne, en calculant l'ERA de chacune des variables par rapport à l'échantillon néandertalien (Figure 51).

Dans un premier temps, cette analyse met en évidence que cet individu est bien intégré dans cette variabilité. La majorité des ERA est comprise entre -0,3 et 0,5, ce qui indique un individu très proche de la moyenne néandertalienne. Seuls les ERA de la hauteur de la surface lunaire (HSL) ou l'indice de l'épine sciatique ($I_{épine}$) sont supérieurs à 0,5. Par rapport à la variabilité néandertalienne, Regourdou 1 ne présente aucun trait caractéristique, sauf une surface lunaire légèrement plus haute et une épine iliaque antéro-inférieure plus trapue (un rapport épaisseur/longueur plus important).

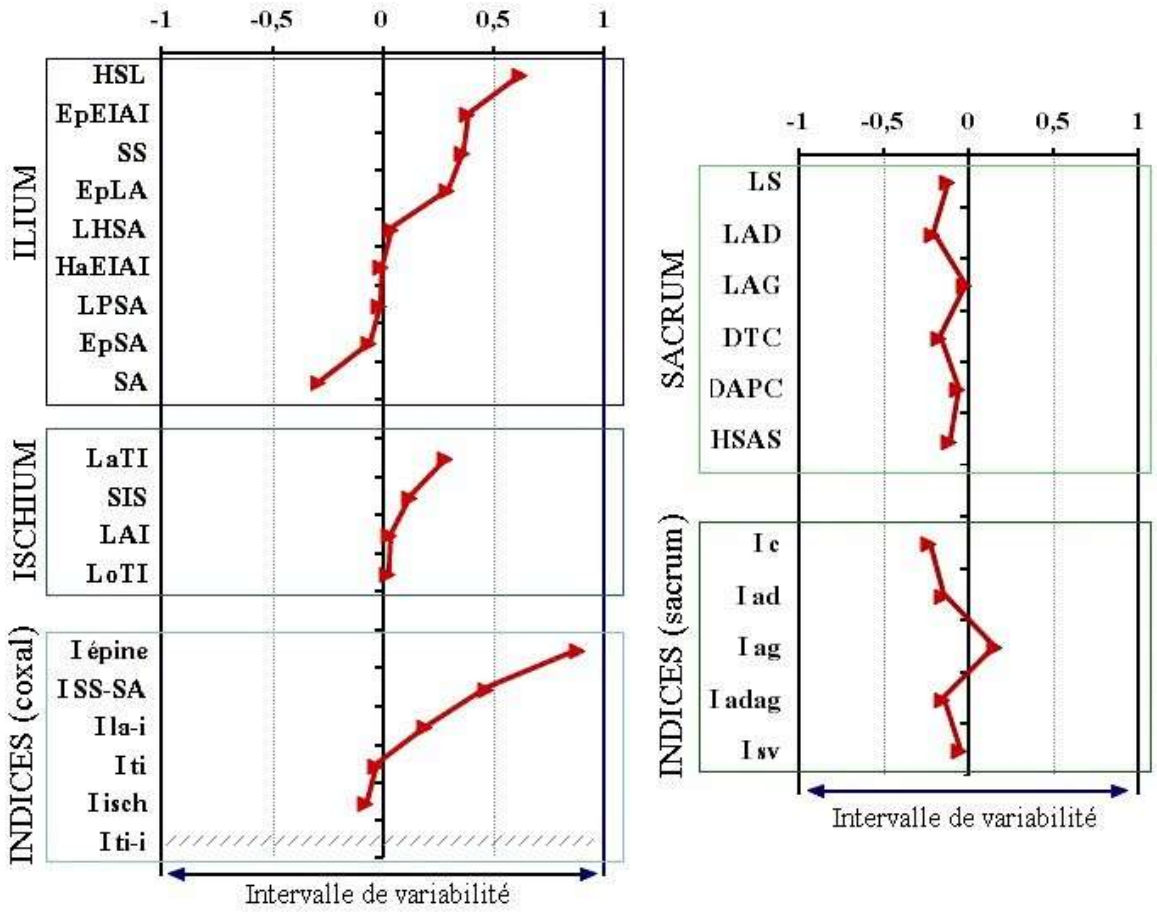


Figure 51. Analyse de la distance probabiliste entre Regourdou 1 et un échantillon néandertalien.
Dans le cas de l'indice Iti-i, l'effectif néandertalien est trop faible pour calculer un ERA. (Références des mesures, voir Figure 48)

Lors de l'analyse de la distance probabiliste, nous avons vu que les différences morphologiques entre le bassin néandertalien et le bassin moderne semblent se confirmer métriquement : la morphologie plus « trapue » de la tubérosité ischiatique, une épine iliaque antéro-inférieure plus massive ou une surface rétro-cotyloïdienne plus étroite sont traduites par des dimensions qui s'écartent de la moyenne moderne. Pourtant, aucune des variables considérées ne distingue réellement ces deux populations et nous n'avons observé que des tendances. De la même façon, il semblerait que la différence entre individus néandertaliens et modernes ne réside pas tant dans la grandeur de certaines dimensions, mais plutôt dans la concomitance de certaines caractéristiques. Pour tester cette hypothèse, nous avons voulu opérer une analyse multivariée, afin d'approfondir l'analyse de la position du bassin Regourdou 1 et des bassins néandertaliens au sein de l'échantillon moderne.

IV.1.2.3. Analyse multivariée des dimensions pelvienne : analyse en composantes principales

Une analyse en composante principale doublement centrée (voir partie méthode) a été effectuée sur l'ensemble des mesures prises sur les coxaux et le sacrum de Regourdou 1. Nous avons autant que possible intégré d'autres spécimens Néandertaliens. Kebara 2 et Subalyuk 1 présentent les mêmes variables coxales et/ou sacrées que Regourdou 1 ; Feldhofer 1, par contre, n'est pas complet, une analyse particulière a été conduite, où le retrait de certaines variables a permis l'ajout de ce spécimen

a. Les données du coxal

Pour mémoire, la liste des mesures définies dans cette étude et analysées par ces ACP est donnée page 120.

L'analyse concernant le coxal apporte un nouvel éclairage sur les résultats exposés précédemment. Deux analyses ont été menées, la première incluant Feldhofer 1 et portant sur un nombre réduit de variables (toutes les variables sauf celles concernant la tubérosité ischiatique), la seconde prenant en compte Kebara 2 et Regourdou 1 et portant sur toutes les

variables. Le taux d'information portée par les trois premiers axes de chaque analyse est faible (48,66 % et 55,13%). Cela est dû au type même de l'ACP utilisé. Dans le cas d'une analyse en composantes principales doublement centrée, l'influence de la taille des individus est diminuée (voir p. 128). Or, dans une ACP classique, la majeure partie de l'information correspond à la taille : l'axe 1 est couramment corrélé à la taille et porte plus de 40% de l'information. Il est donc logique qu'ayant « enlevé » la taille de notre analyse, le taux d'information diminue.

Quand on prend en compte les axes 1 et 2, il y a une nette distinction entre le groupe des Néandertaliens (Feldhofer 1, Kebara 2 et Regourdou 1) et l'échantillon moderne (Figure 52). Cette distinction est corrélée positivement à l'épaisseur de l'épine iliaque antéro-inférieure (EpEIAI), à l'indice $I_{la\text{-}i}$ (qui met en rapport la largeur de l'ischium et l'épaisseur de l'ilium à la ligne arquée), mais elle est surtout corrélée négativement à la variable SIS. Cette analyse confirme que la morphologie de la surface rétro-cotyloïdienne distingue ces deux groupes : les Néandertaliens sont donc bien caractérisés par une surface étroite.

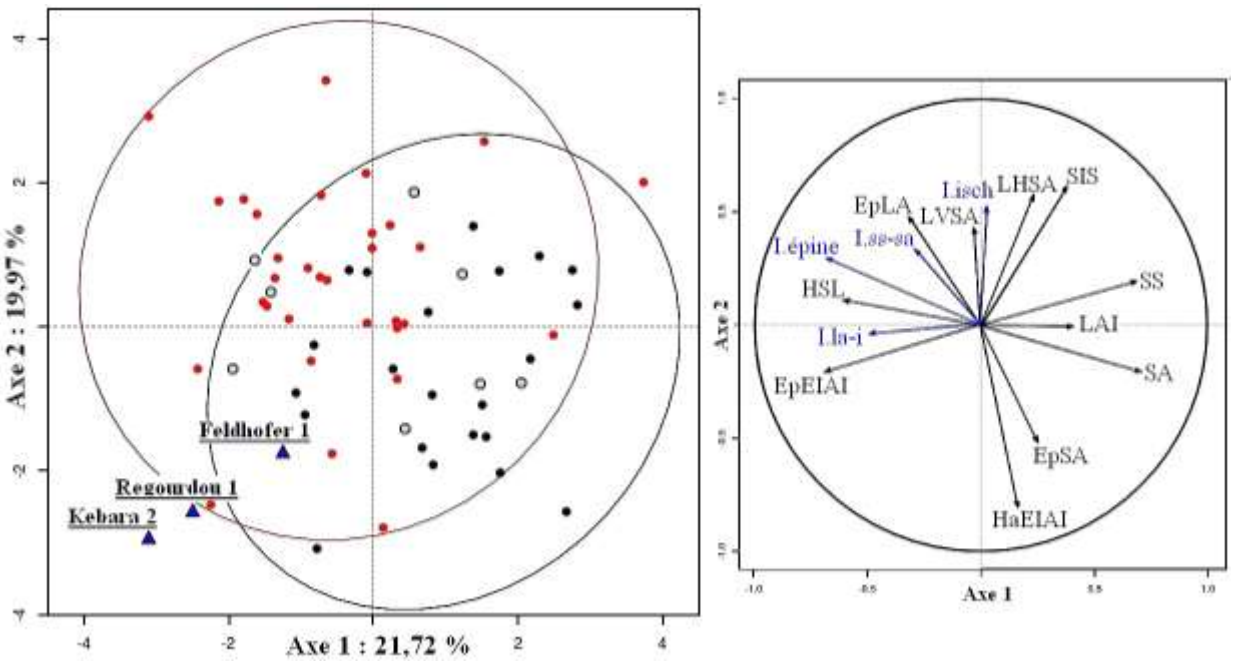


Figure 52. Analyse en composantes principales sur les données coxales, avec Feldhofer 1, axes 1 et 2.
Analyse effectuée sur 15 variables et 80 individus dont 3 néandertaliens. (Références des mesures, Figure 48). Les indices ne sont pas intégrés au calcul des composantes, mais ajoutés à l'analyse dans un deuxième temps.

Les trois spécimens néandertaliens présentent une longueur spino-sciatique (SS) plus petite que les Hommes anatomiquement modernes, pour une longueur spino-auriculaire (SA) équivalente. Le rapport entre ces deux variables n'est donc pas le même chez les deux groupes, ce qui indique une différence de morphologie de la région sacro-iliaque.

Dans le cas des axes 1 et 3, la séparation entre les deux groupes est moins nette (Figure 53). Malgré cela, on constate que les Néandertaliens se distinguent des Hommes anatomiquement modernes par une hauteur de la surface lunaire (HSL) plus importante, un ischium plus court (LAI) et, à nouveau, par une petite longueur spino-sciatique (SS).

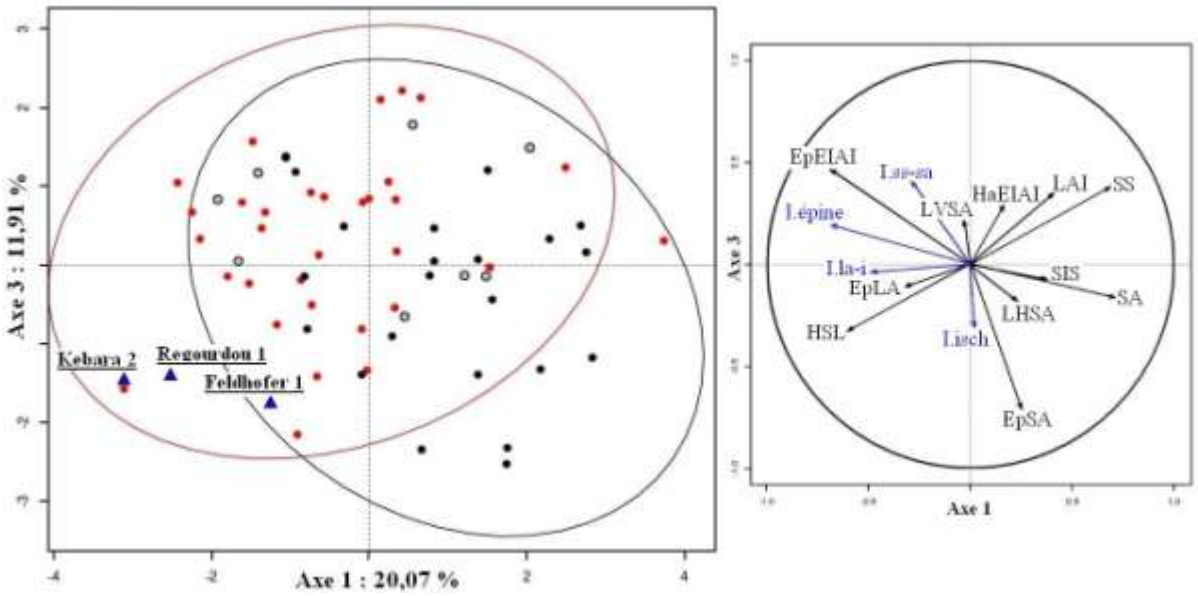


Figure 53. Analyse en composantes principales sur les données coxales, avec Feldhofer 1, axes 1 et 3.
Analyse effectuée sur 15 variables et 80 individus dont 3 néandertaliens. (Références des mesures, Figure 48). Les indices ne sont pas intégrés au calcul des composantes, mais ajoutés à l'analyse dans un deuxième temps.

L'analyse prenant en compte plus de variables (sans Feldhofer 1) nous montre l'importance des variables concernant la tubérosité ischiatique et la morphologie de l'ischium dans la séparation entre individus modernes et Néandertaliens Figure 54). Kebara 2 et Regourdou 1 se distinguent effectivement de la population moderne par une tubérosité ischiatique courte et trapue (la longueur [LoTI] et l'indice [I_{ti}] de la tubérosité sont corrélés négativement à la distinction entre les deux groupes) ; par un ischium étroit (SIS) et peu massif (I_{isch}). Enfin, on retrouve certaines différences déjà mises en évidence lors de l'analyse

prenant en compte Feldhofer 1 : une épine iliaque antéro-inférieure un peu plus épaisse et une longueur spino-sciatique plus courte.

La morphologie particulière de l'épine iliaque antéro-inférieure néandertalienne est confirmée par l'analyse des axes 1 et 3 (Figure 55). S'il n'y a aucune séparation nette entre les deux populations, on constate que Kebara 2 et Regourdou 1 sont à la limite de la variabilité moderne, en raison d'une épine iliaque antéro-inférieure épaisse et massive.

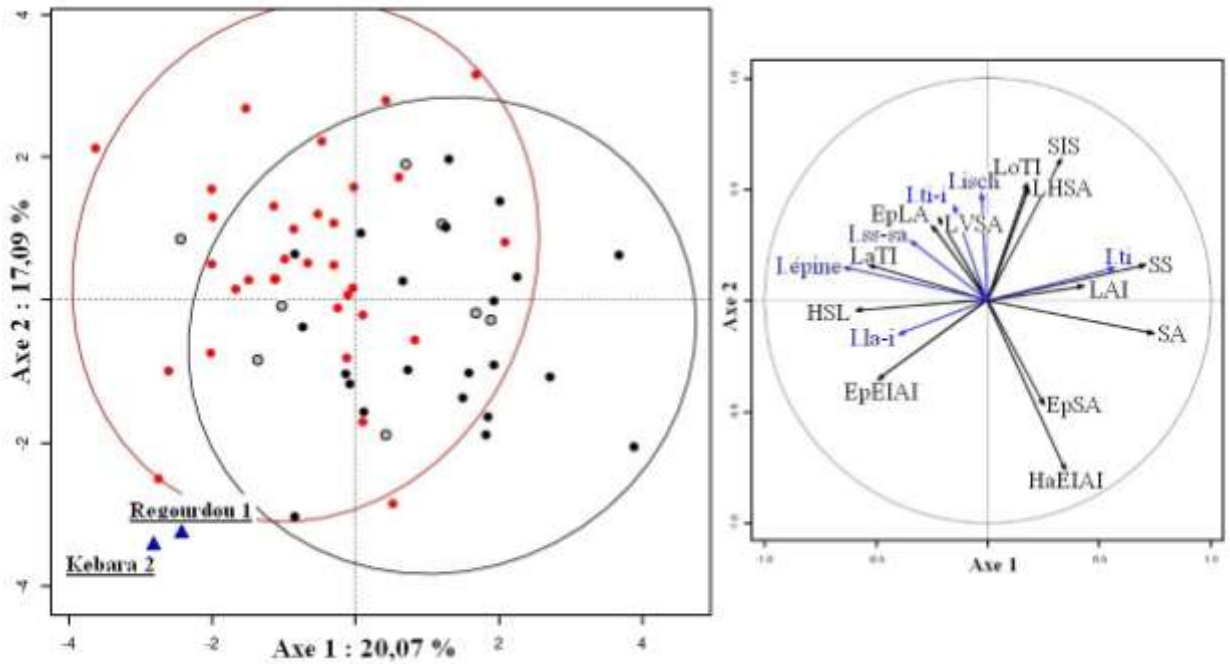


Figure 54. Analyse en composantes principales sur les données coxales, sans Feldhofer 1, axes 1 et 2.
Analyse effectuée sur 19 variables et 79 individus dont 2 néandertaliens. (Références des mesures, Figure 48).

Cette analyse nous confirme donc l'importance des différences qui caractérisent certaines régions anatomiques : l'épine iliaque antéro-inférieure, la surface rétro-cotyloïdienne, la tubérosité ischiatique. Elle montre aussi que ces caractères sont de bons critères de ségrégation entre notre échantillon et les trois individus néandertaliens considérés.

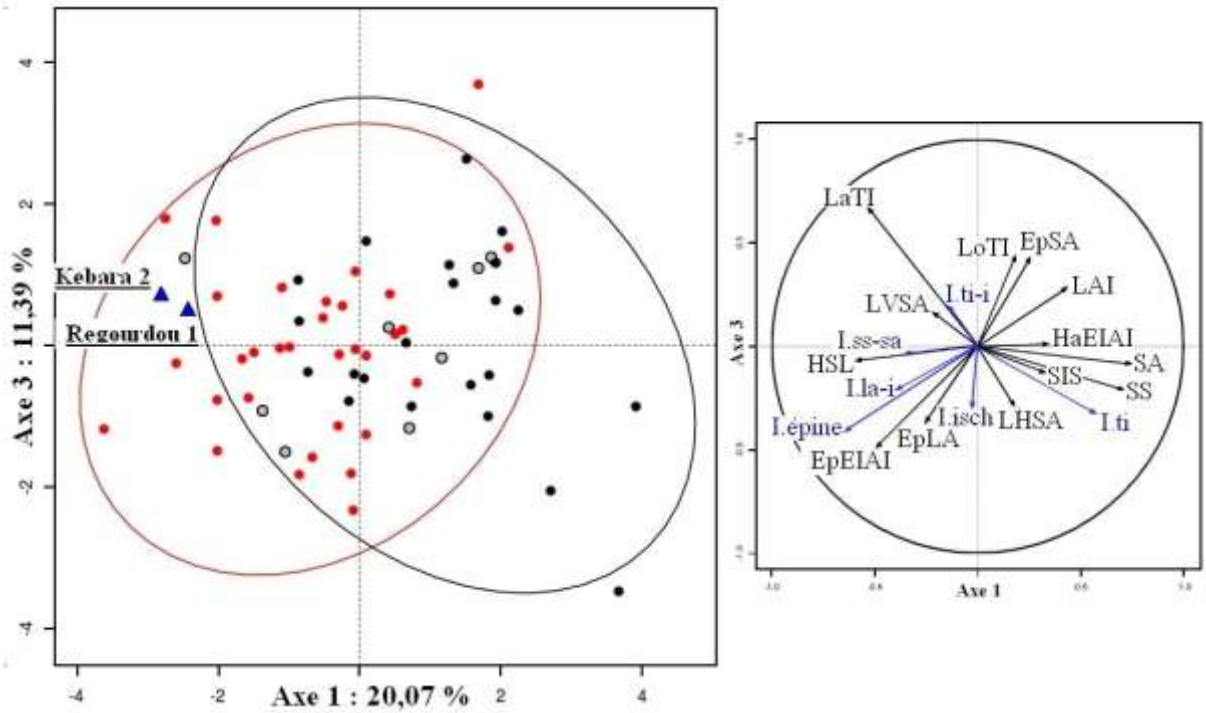


Figure 55. Analyse en composantes principales sur les données coxales, sans Feldhofer 1, axes 1 et 3.
Analyse effectuée sur 19 variables et 79 individus dont 2 néandertaliens. (Références des mesures, Figure 48).

Par ailleurs, nos résultats nous permettent de vérifier la tendance soulignée à la fin de l'analyse de la distance probabiliste (voir p. 183). La majorité des variables considérées ici ne permettaient pas de différencier les individus néandertaliens de la population moderne. Par contre, une fois qu'elles sont analysées ensemble, la différenciation est bien nette. Plutôt qu'un caractère en particulier, c'est la juxtaposition de plusieurs caractères qui semble caractériser le coxal néandertalien.

L'analyse avec trois individus néandertaliens montre que l'un d'entre eux, Feldhofer 1, est au sein de la variabilité moderne. Comme les analyses ont été effectuées de sorte que le facteur taille n'ait plus d'effet sur les résultats (ACP doublement centrées), cela souligne la variabilité de conformation au sein des Néandertaliens. Cela met aussi en évidence l'homogénéité du groupe « Kebara 2-Regourdou 1 » (pour les variables considérées), ce qui est un argument en faveur de l'acceptation de cet individu comme un Néandertalien. Dans la continuité de cette remarque et à partir de ces résultats, on peut donc considérer que certains traits néandertaliens sont indépendants de la variabilité géographique de cette population et

que, de la même façon, la variabilité morphologique de la ceinture pelvienne néandertalienne ne se limite pas à la dichotomie Néandertaliens européens/Néandertaliens asiatiques.

b. Les données du sacrum.

Les trois individus néandertaliens étudiés sont intégrés au sein de la variabilité moderne, ce qui est en accord avec les données de la littérature. Il n'y a pas de différence entre un sacrum néandertalien et les sacrums modernes.

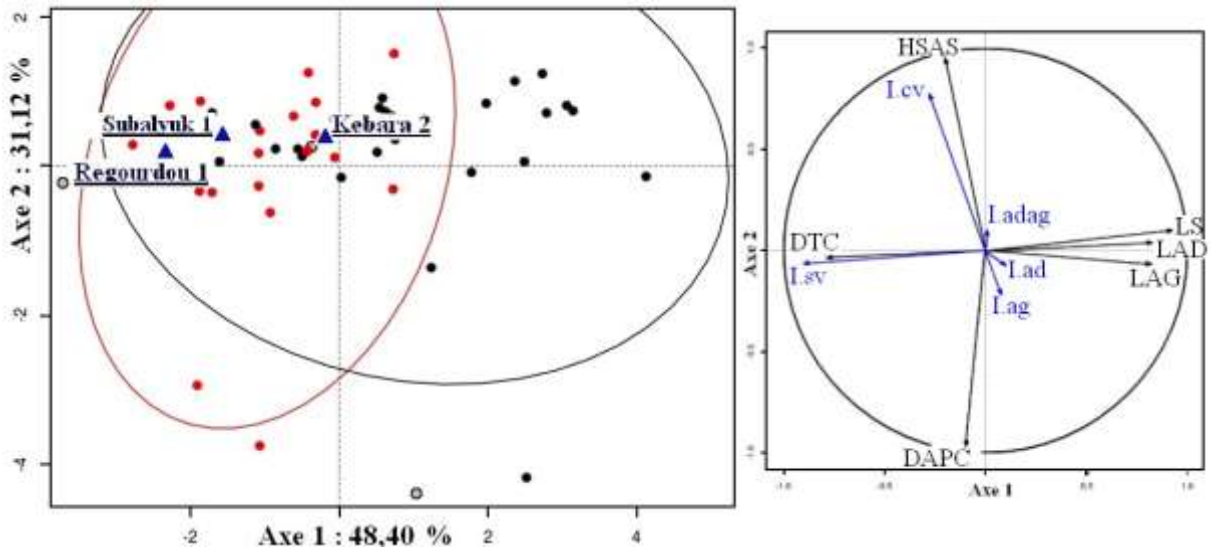


Figure 56. Analyse en composantes principales sur les données du sacrum, axes 1 et 2.
Analyse effectuée sur 11 variables et 50 individus dont 3 néandertaliens. (Références des mesures, Figure 48).

Notons toutefois que Regourdou 1 se distingue légèrement de la variabilité moderne, selon l'axe 3. Cette distinction est corrélée à l'ensemble des données concernant l'aileron droit [longueur (LAD) ou indices (I_{adag}, I_{ad})]. Nous retrouvons ici l'influence de l'asymétrie du sacrum de Regourdou 1 sur nos résultats d'analyse. Ainsi, l'asymétrie du sacrum de Regourdou 1 est le seul critère de ségrégation entre cet individu et le groupe moderne ainsi que les deux spécimens néandertaliens. Nous sommes ici en face d'une asymétrie de conformation, dont l'impact ne doit pas être négligé, surtout dans le cadre de notre analyse obstétricale.

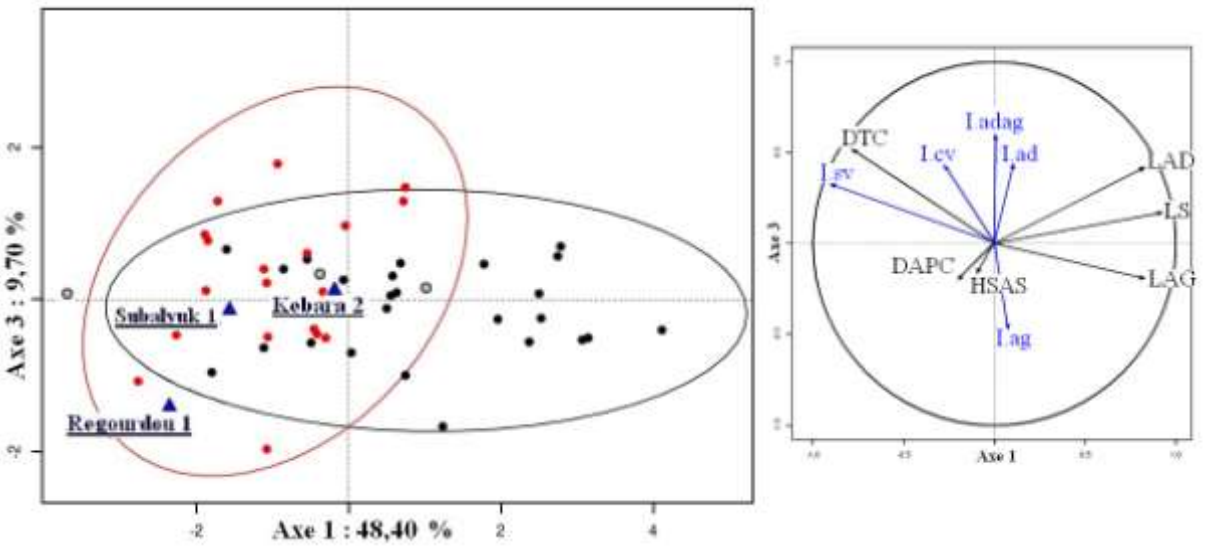


Figure 57. Analyse en composantes principales sur les données du sacrum, axes 1 et 3.
Analyse effectuée sur 11 variables et 50 individus dont 3 néandertaliens. (Références des mesures, Figure 48).

L'analyse morphométrique nous a permis de décrire des différences entre le bassin néandertalien et le bassin moderne. Nous avons aussi pu mettre en évidence l'homogénéité de la morphologie pelvienne néandertalienne, avec la récurrence de certains traits (une épine iliaque antéro-inférieure épaisse et déviée médialement, une surface rétro-cotyloïdienne étroite, une tubérosité ischiatique courte et large, par exemple).

Par ailleurs, nous avons pu observer que les bassins néandertaliens se distinguent des bassins modernes non pas par la présence de certains caractères particuliers (qui pris séparément ne sortent pas de la variabilité morphométrique moderne) mais plutôt par leur présente conjointe. C'est l'observation de l'ensemble de ces traits et de ces dimensions qui caractérise la ceinture pelvienne néandertalienne.

Parmi les différences observées, certaines pourraient avoir une influence sur la morphologie du bassin obstétrical. En effet, si la majorité des variables définies dans cette partie appartiennent au grand bassin, d'autres nous apportent des informations sur le canal pelvien néandertalien. La longueur spino-sciatique (SS) et son rapport avec la longueur spino-auriculaire ($I_{ss\text{-}sa}$) par exemple, traduit d'une morphologie de la région sacro-iliaque et de la position du sacrum par rapport au canal pelvien particulière chez les Néandertaliens. Même si globalement, le bassin néandertalien diffère peu du bassin moderne, la présence de certaines

différences met en évidence la nécessité de poursuivre cette analyse en s'attachant plus précisément au bassin obstétrical.

Dans le cas de Regourdou 1, l'étude du canal pelvien nécessite la reconstruction virtuelle de celui-ci.

IV.2. Reconstruction virtuelle de la ceinture pelvienne de Regourdou 1

Nous avons mis en évidence certaines différences morphométriques entre le bassin Regourdou 1 et le bassin moderne. Nous avons pu voir que ces différences sont communes à l'ensemble des bassins néandertaliens. Il nous faut à présent vérifier l'impact de ces différences sur la morphologie du canal pelvien et les mécaniques obstétricales. Le bassin Regourdou 1 est, on l'a vu, trop fragmenté pour se prêter à une analyse directe. Une reconstruction virtuelle préalable est nécessaire.

Elle a nécessité l'élaboration d'un protocole très précis. En effet, nous avons du résoudre le problème du choix de la méthode d'estimation des données manquantes, ainsi que celui d'une méthode de reconstitution de l'articulation sacro-iliaque. Les différentes entreprises de comparaison nous permettant de faire ces choix ont été décrites lors du chapitre III. Nous en présentons à présent les résultats.

IV.2.1. Estimation des données manquantes : étude comparative et choix de la méthode d'estimation.

Ces comparaisons sont majoritairement faites grâce aux outils de la morphométrie géométrique, comme la superposition Procruste ou les thin-plate spline, à partir des points de repères que nous avons définis. Afin d'évaluer la variabilité de la localisation de ces points, nous en avons analysé l'incertitude inter et intra-observateur.

IV.2.1.1. Incertitude inter et intra-observateur de la localisation des points de repère

L'incertitude intra-observateur est relativement faible, puisque l'erreur résiduelle est inférieure à 2 mm (Tableau 12). Seuls trois points sont au dessus de cette limite : les points LM16, LM25 et LM27. Les deux premiers interviennent dans la définition de certains diamètres obstétricaux, nous les avons conservés. Le point LM27 aurait permis de calculer un diamètre bi-ischiatique médian (par opposition aux diamètres bi-ischiatiques antérieur et postérieur, voir p. 147), variable parfois utilisée en anthropologie sous le nom de *diamètre transverse du détroit inférieur*. Toutefois, son incertitude de localisation était telle que nous avons fait le choix de ne pas l'utiliser, afin de ne pas utiliser une mesure dont l'erreur d'estimation est trop importante pour une analyse ultérieure.

Par ailleurs, on constate une forte hétérogénéité dans l'incertitude intra-observateur liée à la localisation des points : l'erreur moyenne s'échelonne en effet entre 0,62 mm et 2,89 mm (une fois LM27 éliminé). Cette variabilité peut être liée à la nature même des points (selon la définition de Bookstein, voir p. 114).

Lors de la prise des points de repère par plusieurs observateurs (Tableau 12), l'incertitude est nettement plus importante. Même en considérant que l'erreur maximale acceptable est de 3 mm, treize points sont au dessus de cette erreur limite. Ainsi certains points particulièrement robustes lorsque qu'ils sont pris par un seul observateur, se sont révélés très peu reproductibles. Les points les plus précis (LM12 et LM30) n'échappant pas à la règle avec ici des erreurs moyennes de 2,50 mm et 3,10 mm.

Tableau 12. Incertitude intra-observateur lors de la prise des points de repère

		Erreur intra-observateur		Erreur inter-observateur	
Nom	Description	E.M.	%	E.M.	%
LM1	Point promontorium	1,08	0,36	1,88	0,63
LM2	Suture entre les vertèbres sacrées 2 et 3	0,86	0,29	1,52	0,51
LM3	Suture entre les vertèbres sacrées 4 et 5	0,49	0,16	1,06	0,35
LM4	Apex du sacrum	0,52	0,17	1,78	0,59
LM5	Milieu de la crête de l'aileron sacré	1,01	0,34	2,34	0,78
LM6	Point auriculaire	0,46	0,15	1,58	0,53
LM7	Point postérieur sur la surface auriculaire	1,09	0,36	3,85	1,28
LM8	Intersection surface auriculaire-grande incisure ischiatique	0,97	0,32	3,64	1,21
LM9	Point iliospinale posterius	0,91	0,30	3,25	1,08
LM10	Point iliocristale	1,17	0,39	1,69	0,56
LM11	Projection de LM10, sur l'aile iliaque	1,50	0,50	3,74	1,25
LM12	Point iliospinale anteriorus	0,65	0,22	2,5	0,83
LM13	Point medio-spinale	0,86	0,29	5,06	1,69
LM14	Point de courbure maximale de la grande incisure ischiatique	1,04	0,35	3,01	1,00
LM15	Sommet de l'épine sciatique	0,59	0,20	2,15	0,72
LM16	Point de courbure maximale de la ligne arquée	2,89	0,96	2,53	0,84
LM17	Point symphysion	0,75	0,25	1,66	0,55
LM18	Point médial sur la symphyse pubienne	0,74	0,25	1,92	0,64
LM19	Point inférieur sur la symphyse	0,75	0,25	1,84	0,61
LM20	Sommet du tubercule obturé antérieur	0,44	0,15	1,04	0,35
LM21	Sommet du tubercule pubien	0,76	0,25	2,43	0,81
LM22	Centre du sillon obturateur	1,24	0,41	0,69	0,23
LM23	Sommet du tubercule obturé postérieur	1,51	0,50	2,3	0,77
LM24	Sommet de l'éminence ilio-pectinée	1,28	0,43	4,73	1,58
LM25	Point le plus antérieur de la tubérosité ischiatique	2,35	0,78	3,75	1,25
LM26	Point le plus postérieur de la tubérosité ischiatique	1,61	0,54	3,28	1,09
LM27	Intersection crête médiale-insertion transverse sur la tubérosité	8,56	2,85	20,9	6,97
LM28	Point sur le bord acétabulaire inférieur	1,52	0,51	3,77	1,26
LM29	Point sur le bord acétabulaire supérieur	1,05	0,35	3,72	1,24
LM30	Centre de l'acétabulum	0,62	0,21	3,1	1,03

La description plus précise de chaque point est disponible en partie Méthodes. L'erreur moyenne (E.M.) est en millimètres et représente l'écart entre chaque prise et le centroïde de toutes les prises. Afin de proposer une évaluation de l'incertitude relative de chaque point, nous avons rapporté cette erreur à la valeur de 300 mm, donnée qui est une bonne approximation de l'ordre de grandeur d'un bassin moderne adulte.

IV.2.1.2. Comparaison de trois méthodes d'estimation des données manquantes : l'algorithme EM, des multiples régressions et des thin-plate spline.

Trois méthodes d'estimation des données manquantes ont été comparées, dans le but de définir celle à utiliser pour reconstruire Regourdou 1 (Meyer *et al.* 2012a ; Meyer *et al.* 2012b). Nous avons testé différents paramètres (voir partie méthodes) afin d'évaluer l'efficacité et l'utilité de chaque méthode.

Variation du nombre de points manquants et de la taille de l'échantillon de référence

L'augmentation du nombre de points de repère manquants produit une augmentation de l'erreur (Figure 58, Tableau 13a), qui dépend aussi de la taille de l'échantillon de référence (Tableau 13b).

Pour l'effectif complet, les trois méthodes produisent des résultats bien distincts (Figure 58a). La méthode MR est la meilleure méthode, avec une erreur, qui bien qu'augmentant de manière significative, ne dépasse pas les 6 mm. On observe une brusque rupture de pente à 15 points manquants. Cet effectif correspond à 30% des données manquantes, il est possible que cette proportion entre les données manquantes et les données présentes marque une valeur limite. La méthode EM varie peu, mais de façon significative, sous l'influence de l'augmentation du nombre de données manquantes. La méthode TPS est assez stable jusqu'à 15 points manquants puis subit une brusque et significative augmentation de son erreur, jusqu'à 6,68 mm d'erreur, ce qui en fait la méthode la moins efficace pour cet effectif. On retrouve la même influence de la limite « 30 % » que pour MR. Dans le cas de la reconstruction virtuelle de Regourdou 1, cette valeur limite pourrait poser problème : Regourdou 1 présente plus de 60% de données manquantes. Par ailleurs, à effectif complet et à 30 points manquants, la méthode RM est donc significativement meilleure que les deux autres (Tableau 14).

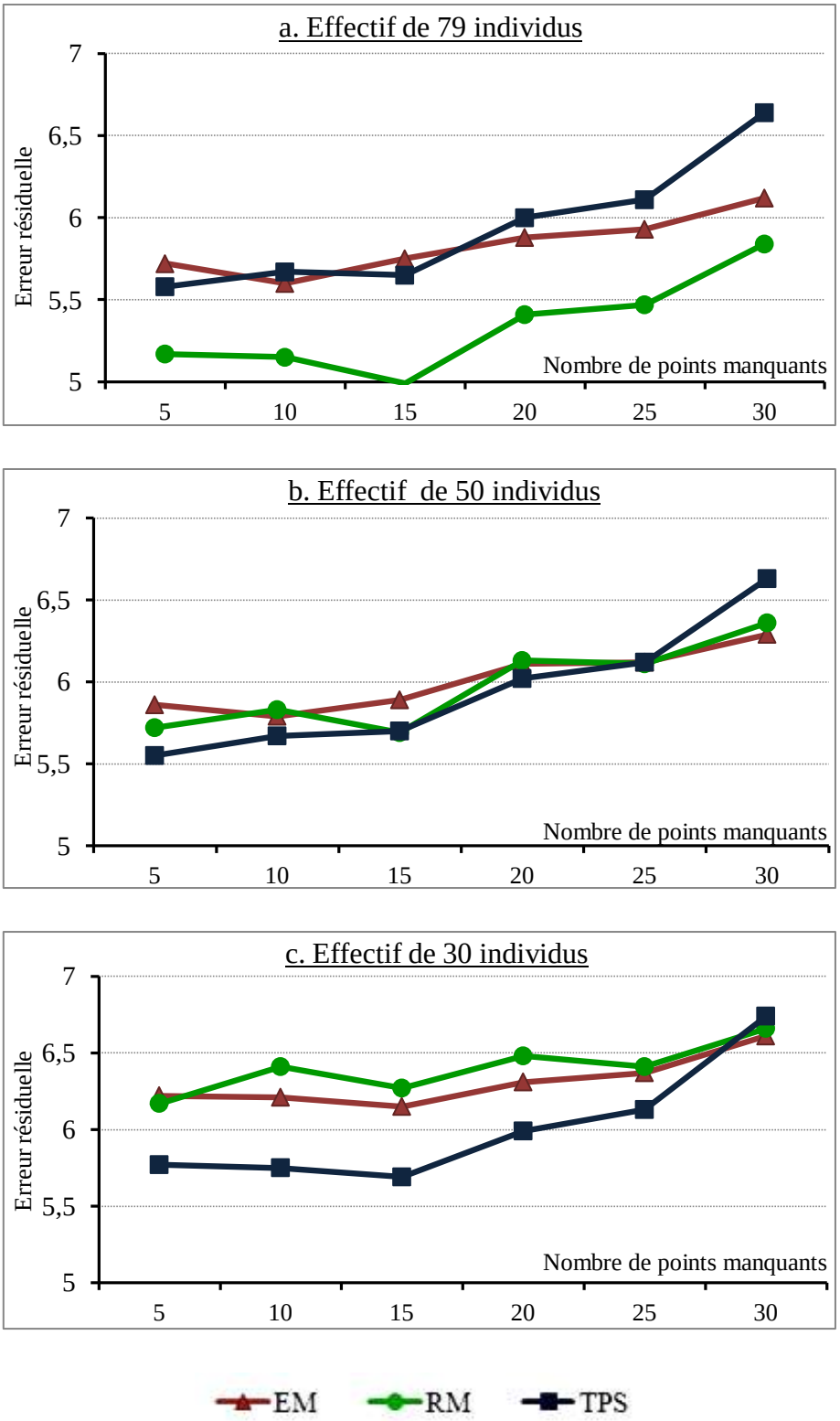


Figure 58. Erreur résiduelle moyenne d'estimation en fonction du nombre de données manquantes, pour différents échantillons de référence.

a. Effectif complet, soit 79 individus ; b. 50 individus ; c. 30 individus. EM : méthode de l'algorithme EM ; RM : méthode des régressions multiples ; TPS : méthode des thin-plate spline.

Le test des méthodes avec un échantillon de référence limité à 50 individus donne des résultats très différents (Figure 58b). Il n'y a pas de différence significative entre les trois méthodes (Tableau 14). On retrouve le palier à 30 % de données manquantes, plus marqué chez RM et TPS que chez EM. La moins bonne méthode est la méthode TPS, mais cela n'est pas significatif.

Tableau 13. Influence de la quantité de données manquantes et de la taille de l'échantillon de référence (valeurs de p[35])

a. Influence de la quantité de données manquantes

Taille effectif	Méthodes d'estimation		
	EM	MR	TPS
79 ind.	< 0,01*	< 0,01*	< 0,01*
50 ind.	0,02*	0,07	< 0,01*
30 ind.	0,43	0,91	< 0,01*

b. Influence de la taille de l'échantillon

Nb de points manquants	Méthodes d'estimation		
	EM	RM	TPS
5	0,42	0,01*	0,81
10	0,05*	< 0,01*	0,89
15	0,3	< 0,01*	0,93
20	0,14	< 0,01*	0,99
25	0,11	< 0,01*	1
30	0,09	< 0,01*	0,86

EM : algorithme EM ; RM : régressions multiples ; TPS : thin-plate spline. La différence entre les erreurs d'estimation pour les trois échantillons de référence est testée grâce à un test de Kruskall-Wallis, avec une différence significative pour p<0,05.

À 30 points manquants, l'erreur résiduelle de TPS à est identique à celle du test avec un effectif complet (Figure 58c). Ce n'est pas le cas des méthodes RM et EM, dont l'erreur augmente d'environ 0,5 mm. Cette augmentation est significative pour RM mais non pour EM (Tableau 13b). Les méthodes ne réagissent pas de la même façon à la baisse de la taille de l'échantillon de référence : RM est très fortement influencée par celle-ci, tandis que TPS est particulièrement robuste pour de petits échantillons. Cette qualité peut s'avérer décisive dans le cas de l'estimation de données manquantes sur un individu fossile.

[35] La valeur du test n'est pas interprétable, notamment dans le cas de tests non-paramétrique, comme c'est le cas ici. Elle ne présente donc pas d'intérêt dans le cadre de notre étude, nous ne l'avons donc pas présentée.

La comparaison entre les trois méthodes nous permet de mettre en évidence la prépondérance d'une méthode sur les deux autres : la méthode RM (Tableau 14). Cette différence, bien que visible graphiquement, n'est plus significative dans le cas d'échantillons de référence plus petits.

Tableau 14. Différence entre les trois méthodes d'estimation (valeurs de p)

	79 individus				50 individus	30 individus
Points manquants	p global	p EM-RM	p EM-TPS	p RM-TPS	p global	p global
5	0,03*	0,01*	0,31	0,17	0,72	0,42
10	< 0,01*	0,01*	0,55	< 0,01*	0,72	0,09
15	< 0,01*	< 0,01*	0,55	< 0,01*	0,66	0,08
20	< 0,01*	< 0,01*	0,39	< 0,01*	0,95	0,22
25	< 0,01*	< 0,01*	0,21	< 0,01*	1	0,48
30	< 0,01*	0,03*	< 0,01*	< 0,01*	0,17	0,84

EM : algorithme EM ; RM : régressions multiples ; TPS : thin-plate spline. Les trois méthodes sont comparées grâce à un test de Kruskall-Wallis (p global), avec une différence significative pour $p < 0,05$; dans le cas d'une différence significative, les méthodes sont comparées deux à deux grâce à un test de Wilcoxon, avec une significativité à $p<0,05$.

Lors du test sur l'effectif complet, l'erreur résiduelle de l'estimation de quinze points manquants par la méthode MR est moins importante que celle de cinq points (Figure 58a). Cela semble contredire nos conclusions précédentes sur la corrélation positive entre nombre de données manquantes et erreur résiduelle. Nous pouvons émettre l'hypothèse que certains des points compris dans les quinze manquants sont plus « facilement » estimables que les cinq premiers points. La nature même des points manquants auraient donc une influence sur les résultats d'une estimation. Nous avons vu que la localisation des points peut être plus ou moins robuste, notamment en fonction du type de point (voir p. 191), ce qui pourrait avoir une influence sur les résultats de notre estimation.

Afin de corroborer ces résultats, nous avons testé l'influence de la liste de points utilisée au cours de chaque test (k, p), en conduisant ces tests sur deux listes de points différentes (Tableau 15). On voit que pour certains couples (k, p), l'influence du choix des points de repère manquants est significative. C'est particulièrement vrai dans le cas d'un nombre important de données manquantes. Toutefois, cette influence n'est pas généralisée et nous

pouvons noter que la méthode TPS semble plus influencée par le type de points que les autres méthodes.

Tableau 15. Comparaison entre deux séries de points manquants (valeurs de p)

Quantité de points manquants	79 individus			50 individus			30 individus		
	EM	RM	TPS	EM	RM	TPS	EM	RM	TPS
5	0,32	1	0,69	0,33	0,31	0,63	0,15	0,34	0,89
10	< 0,01*	0,02*	< 0,01*	0,13	0,64	0,01*	0,12	0,24	0,05
15	0,17	< 0,01*	0,01*	0,96	0,49	0,25	0,38	0,46	0,23
20	0,83	0,89	0,16	0,18	0,34	0,18	0,99	0,9	0,47
25	0,13	0,29	< 0,01*	0,28	0,16	0,01*	0,99	0,91	0,11
30	0,01*	< 0,01*	< 0,01*	0,14	0,05	< 0,01*	0,39	0,39	0,01*

EM : algorithme EM ; RM : régressions multiples ; TPS : thin-plate spline. Les erreurs d'estimation obtenues avec chacune des séries de points sont comparées grâce à un test de Kruskall-Wallis, avec une différence significative pour $p < 0,05$.

Ces quatre analyses mettent en évidence le fait que la méthode MR est la plus efficace dans tous les cas de figure possibles. Toutefois, nous avons aussi vu qu'elle est très fortement influencée par la taille de l'effectif de référence. Ceci a son importance dans le cas de l'estimation de données manquantes chez Regourdou 1. Peu d'individus néandertaliens sont disponibles pour constituer un échantillon assez complet qui permette d'utiliser la méthode MR. La solution serait alors d'utiliser comme échantillon de référence des individus anatomiquement modernes.

Estimation inter et intra-spécifique

Afin de mesurer l'influence que cette différence taxinomique peut avoir sur les résultats de notre estimation, nous avons voulu tester l'estimation de points manquants sur un individu néandertalien par un échantillon moderne. Le seul individu néandertalien suffisamment complet pour se prêter à ce test est Kebara 2 (Tableau 16, Figure 59).

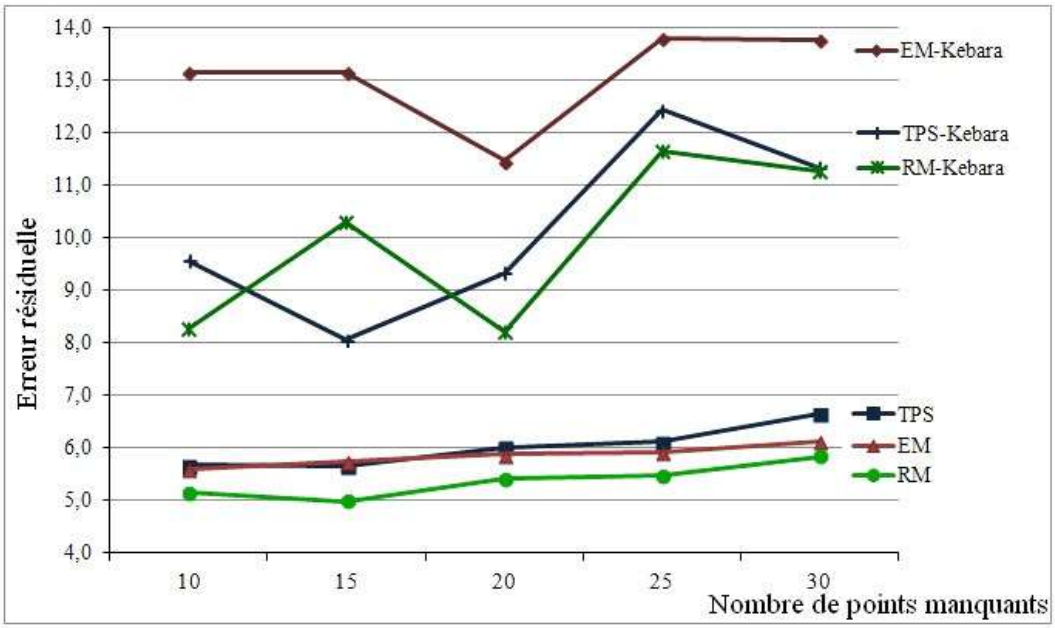


Figure 59. Comparaison de l'erreur résiduelle moyenne de l'estimation de points manquants sur Kebara 2 avec les résultats d'une estimation sur les Hommes anatomiquement modernes.

L'estimation est effectuée avec un échantillon de référence complet (79 individus), grâce aux trois méthodes : EM-Kebara (algorithme EM) ; RM-Kebara (Régressions multiples) ; TPS-Kebara (thin-plate spline).L'erreur résiduelle d'estimation d'un individu moderne par le même échantillon est redonnée pour comparaison.

L'erreur résiduelle de chaque méthode est nettement supérieure que lors des tests précédents et les relations entre les trois méthodes sont bouleversées. Méthode correcte dans le cas d'une estimation sur un individu moderne, la méthode EM est ici la moins efficace avec plus de 13 mm d'erreur à 30 points manquants, mais ce n'est pas significatif. Les méthodes TPS et RM ont une efficacité comparable. Néanmoins, à environ 11,5 mm d'erreur résiduelle moyenne, les résultats montrent à quel point la différence taxinomique est problématique.

Tableau 16. Estimation de données manquantes sur Kebara 2 : erreurs résiduelles et valeurs de p

Quantité de points manquants	Erreurs d'estimations (mm)			Valeurs de p			
	EM	RM	TPS	p global	p EM-RM	p EM-TPS	p RM-TPS
10	13,15	8,27	9,56	0,42	/	/	/
15	13,15	10,30	8,05	0,01*	0,09	< 0,01*	0,11
20	11,45	8,21	9,32	0,07	/	/	/
25	13,77	11,64	12,43	0,74	/	/	/
30	13,76	11,26	11,32	0,04*	0,01*	0,05	0,96

EM : algorithme EM ; RM : régressions multiples ; TPS : thin-plate spline. Les trois erreurs résiduelles sont comparées grâce à un test de Kruskall-Wallis (p global), avec une différence significative pour $p < 0,05$; dans le cas d'une différence significative, les méthodes sont comparées deux à deux grâce à un test de Wilcoxon, avec une significativité à $p<0,05$.

Influence du sexe

Les erreurs résiduelles obtenues lors de l'estimation par un échantillon de référence dont le sexe est connu sont comparables à celles que l'on obtient dans les premiers tests : MR obtient les meilleurs résultats. L'influence du sexe est fortement significative (Tableau 17).

Tableau 17. Influence du sexe sur l'efficacité des méthodes : erreurs résiduelles et valeurs de p

Quantité de points manquants	EM				MR				TPS			
	MS	SO	Mix.	p	MS	SO	Mix.	p	MS	SO	Mix.	p
15	4,16	6,36	5,75	<0,01*	2,00	6,69	5,54	<0,01*	4,84	6,16	5,34	<0,01*
30	4,42	7,10	5,98	<0,01*	2,95	6,91	5,58	<0,01*	5,11	6,01	5,46	<0,01*

Tests *post hoc* deux à deux : différence significative pour toutes les estimations, avec $p<1.10^{-8}$. Échantillon MS : de même sexe que l'individu estimé ; SO : de sexe opposé ; Mix. : mixte. EM : algorithme EM ; RM : régressions multiples ; TPS : thin-plate spline. Les trois erreurs résiduelles sont comparées grâce à un test de Kruskall-Wallis (p global), avec une différence significative pour p > 0,05.

Deux conclusions peuvent être tirées de cette dernière analyse. D'abord, cela nous permet de considérer que dans le cas d'un individu de sexe inconnu, le choix d'un échantillon mixte est le plus judicieux. L'erreur d'estimation avec un échantillon mixte est de fait inférieure à celle obtenue avec un échantillon de sexe opposé. Ensuite, quelque soit la méthode, le sexe a une influence significative sur les résultats de l'estimation. Cela ne permet pas de sélectionner une méthode plutôt qu'une autre ; le sexe n'est donc pas un facteur déterminant dans le choix de la méthode.

Test TPS à un individu de référence

Comme nous l'avons vu, la méthode TPS est la moins sensible à la baisse de l'effectif (Figure 58). Nous avons vu aussi l'augmentation importante de l'erreur résiduelle lors du teste inter-taxonomique (Figure 59). Or le seul individu de la même population que Regourdou 1 à notre disposition est Kebara 2. La solution serait une estimation de données manquantes par un seul individu de référence. Nous avons testé cette configuration sur l'échantillon moderne, par la méthode TPS (Figure 60).

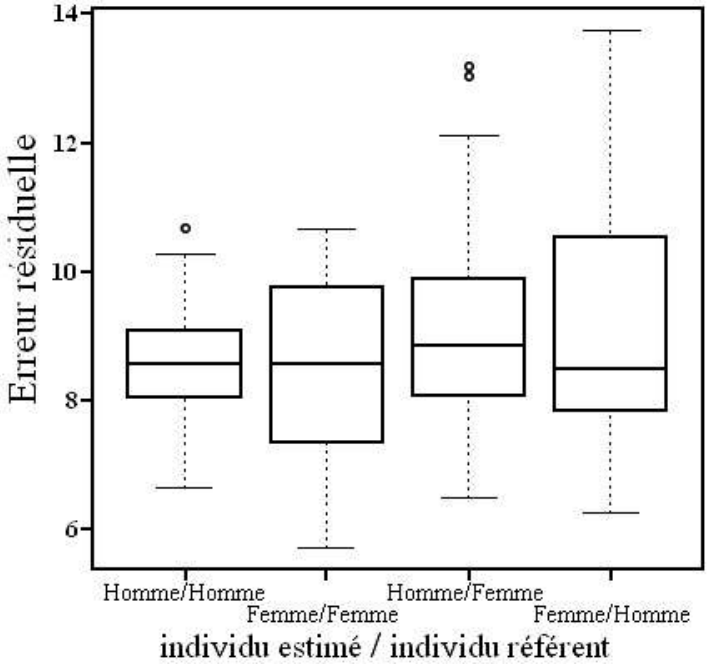


Figure 60. Estimation de points manquants par la méthode des thin-plate spline par un seul individu.

Afin d'évaluer tous les cas de figure, nous avons reconstruit chaque individu avec un individu de même sexe et du sexe opposé. L'erreur d'estimation d'un individu par un individu de sexe opposé est plus importante que celle obtenue lorsque les individus sont de même sexe [erreur significative (p=0,02)] (Tableau 18). Toutefois, on note que reconstruire un individu masculin par un individu féminin ne produit pas d'erreur significativement différente de l'estimation par un individu de même sexe. Dans le cadre de ce travail, ce dernier résultat a peu d'importance, car nous ne connaissons le sexe d'aucun des deux individus.

Tableau 18. Influence du sexe lors de l'estimation par la méthode des thin-plate spline, à un individu de référence. Erreurs résiduelles (en mm) et valeurs de p

	Individu estimé/individu de référence				
	Homme/Homme	Femme/Femme	Homme/Femme	Femme/Homme	Friedman
Erreur	8,08	8,01	8,65	9,24	p = 0,02*

Tests post hoc	F/F	H/F	F/H
H/H	> 0,05	> 0,05	0,0083*
F/F		> 0,05	0,0042*
H/F			> 0,05

Les quatre erreurs sont comparées globalement grâce à un test de Friedman puis deux à deux grâce à un test de Wilcoxon, avec une différence significative quand p<0,05.

En comparant les résultats de cette estimation, on remarque que, quelque soit le schéma, l'estimation par TPS à un individu de référence produit moins d'erreur que l'estimation inter-taxinomique. Cette méthode permettrait de résoudre la question de la faiblesse de l'échantillon néandertalien disponible pour la reconstruction de Regourdou 1.

Bilan

La comparaison précise de trois différentes méthodes d'estimation des données manquantes met en évidence l'influence importante de certains paramètres (Tableau 19). Ainsi, lors du choix de la méthode d'estimation pour notre reconstruction finale, il est nécessaire de prendre en compte la taille de notre échantillon de référence, mais aussi la question de la différence taxinomique entre Regourdou 1 et cet échantillon de référence.

Tableau 19. Bilan de la comparaison de trois méthodes d'estimation des données manquantes.

Variable testée	Résultats
Nombre de points manquants	Augmentation de l'erreur résiduelle Palier à 30 % de données manquantes
Type de points manquants	Influence significative selon les points
Taille de l'échantillon de référence	Influence significative pour RM Influence significative pour EM à faible effectif (30) Pas d'influence pour TPS
Sexe	Influence significative
Différence taxinomique	Augmentation significative de l'erreur résiduelle EM très mauvais, TPS et RM ont résultats équivalents
TPS à 1 individu de référence, de même taxon	Erreur résiduelle importante mais moins que dans le cas d'un échantillon inter-taxinomique Influence significative du sexe

IV.2.1.3. Choix de la méthode d'estimation des données manquantes

Les résultats de l'analyse comparative de trois différentes méthodes d'estimation de données manquantes mettent en avant deux approches différentes.

- une estimation grâce à la méthode MR, avec un échantillon de référence important mais interspécifique.
- une estimation par TPS, à un individu de référence, Kebara 2.

La difficulté de choisir l'une de ces méthodes réside dans l'impossibilité de la tester sur Regourdou 1 et donc de l'impossibilité d'avoir la certitude que le « comportement » de celui-ci sera équivalent à ce que nous avons observé au cours des tests sur les individus modernes ou Kebara 2.

Nous avons voulu vérifier ces deux approches de deux façons différentes.

1. Nous avons procédé à une estimation de données manquantes non plus prises au hasard mais correspondant aux 34 points manquants chez Regourdou 1 afin de tester directement l'estimation de ces points spécifiques. Cette estimation a été faite sur Kebara 2 par MR à partir de l'échantillon moderne ainsi que sur l'échantillon moderne par TPS à un individu de référence. Les résultats de ces deux estimations sont présentés (Figure 61).

2. Sur Regourdou 1, nous avons éliminé à plusieurs reprises un couple de points parmi les vingt points connus. Nous les avons estimés avec chacune des deux méthodes présentées ci-dessus et calculé l'erreur d'estimation (Tableau 20).

Les résultats montrent que dans le cas de l'estimation d'un individu dont la population ou l'espèce d'origine est différente de celle de l'échantillon de référence, on doit privilégier le caractère intra-spécifique de l'échantillon, plutôt que sa taille. Dans le cas du test à 34 points manquants, on voit nettement que l'erreur résiduelle dans le cas d'une estimation sur Kebara 2 par MR est supérieure à l'estimation par TPS, quelques soient les sexes des individus estimés et de référence (Figure 61). De la même façon, dans le cadre de l'estimation de quatre couples de points présents chez Regourdou 1, à l'exception du couple LM13D – LM29D, l'erreur résiduelle obtenue à partir de la méthode TPS est deux fois moins importante que celle obtenue par la méthode MR (Tableau 20).

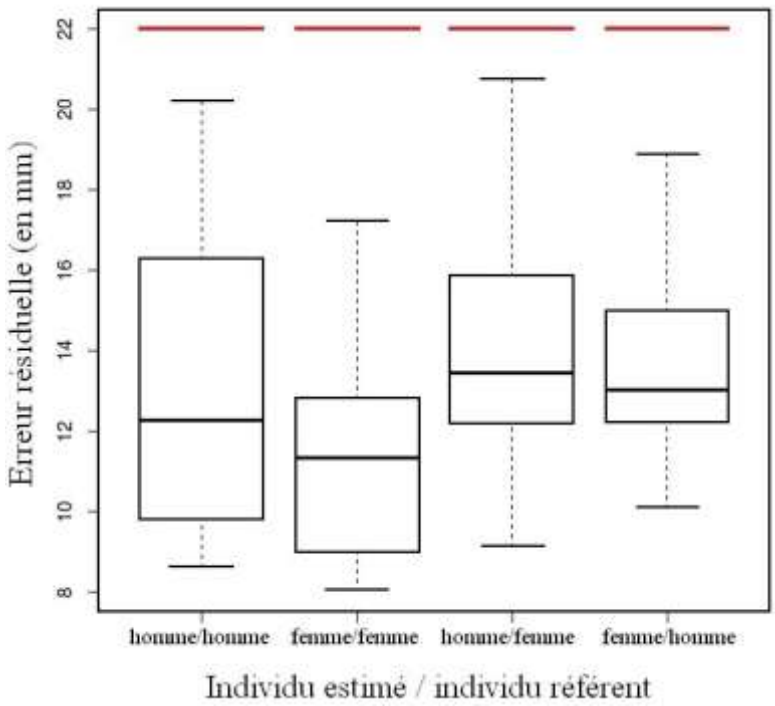


Figure 61. Comparaison de deux méthodes (RM et TPS) et de deux échantillons de référence.

Boxplots : échantillon moderne, par thin-plate spline, à un individu de référence. En rouge : estimation sur Kebara 2, par Régressions Multiples, à 78 individus de référence. Erreurs résiduelles calculées après l'estimation de 34 points manquants.

Ces deux dernières analyses permettent de choisir la méthode TPS comme méthode d'estimation des points manquants et l'individu Kebara 2 comme individu de référence.

Tableau 20. Erreur résiduelle moyenne obtenue après l'estimation de couples de points chez Regourdou 1 par deux méthodes et deux échantillons de référence différents.

	Erreur résiduelle d'estimation, en millimètres	
Couple de points manquants	Estimation par RM, avec un échantillon de 79 individus anatomiquement modernes	Estimation par TPS, à partir de l'individu Kebara 2
LM13D, LM2	20,8	8,6
LM16D, LM5G	6,7	1,7
LM13D, LM29D	4,5	4,1
LM16G, LM16D	7,4	3,5

RM : Régressions Multiples ; TPS : thin-plate spline

IV.2.2. Reconstruction de l'articulation sacro-iliaque

Grâce aux données sur l'épaisseur du cartilage sacro-iliaque nous avons pu reconstruire cette articulation ; d'abord virtuellement, grâce au logiciel 3Dsmax, puis manuellement grâce à l'ajout de plastiline (voir partie méthodes). Avant de poursuivre notre reconstruction, nous avons dû choisir entre ces deux approches. Chez Regourdou 1, l'articulation sacro-iliaque est parfaitement conservée. Il est donc très facile de la reconstituer manuellement car on sait avec certitude quand les deux os sont bien positionnés l'un par rapport à l'autre (Figure 62).

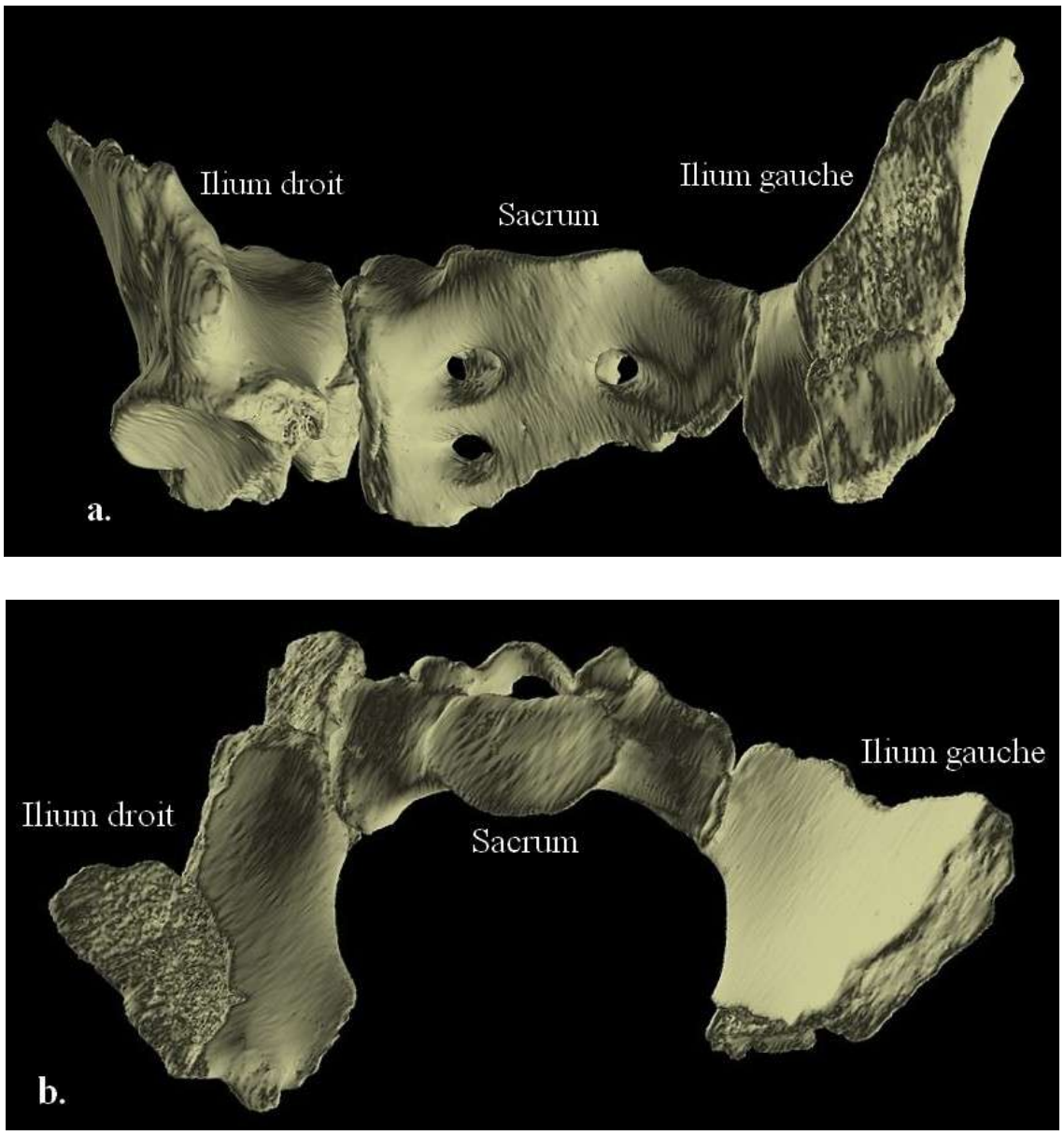


Figure 62. Image virtuelle de la reconstruction manuelle de l'articulation sacro-iliaque

a. vue antérieure et b. vue supérieure. Les deux iliums ont été assemblés au sacrum, grâce à l'ajout de plastiline le long de l'articulation sacro-iliaque avant d'être scannés puis traités virtuellement.

Il n'en va pas de même avec une manipulation virtuelle (Figure 63). En effet, comme le souligne Zollikofer (Zollikofer et Ponce de León 1995 ; Zollikofer *et al.* 2005), il est difficile de remplacer la sensation et la maitrise de la main humaine. Malgré toute sa précision, le logiciel ne nous apporte pas la même finesse, la même immédiateté de l'observation et la même « certitude » que lors de la reconstitution manuelle. Si l'ilium gauche se positionne assez facilement, il n'en va pas de même pour l'ilium droit, qui offre un éventail de possibilités d'orientation trop important. De plus, pour reconstituer le cartilage sacro-iliaque, l'utilisation de plastiline et la possibilité de maitriser son épaisseur a donné de meilleurs résultats. C'est donc cette dernière approche qui a été privilégiée pour le reste de la reconstruction.

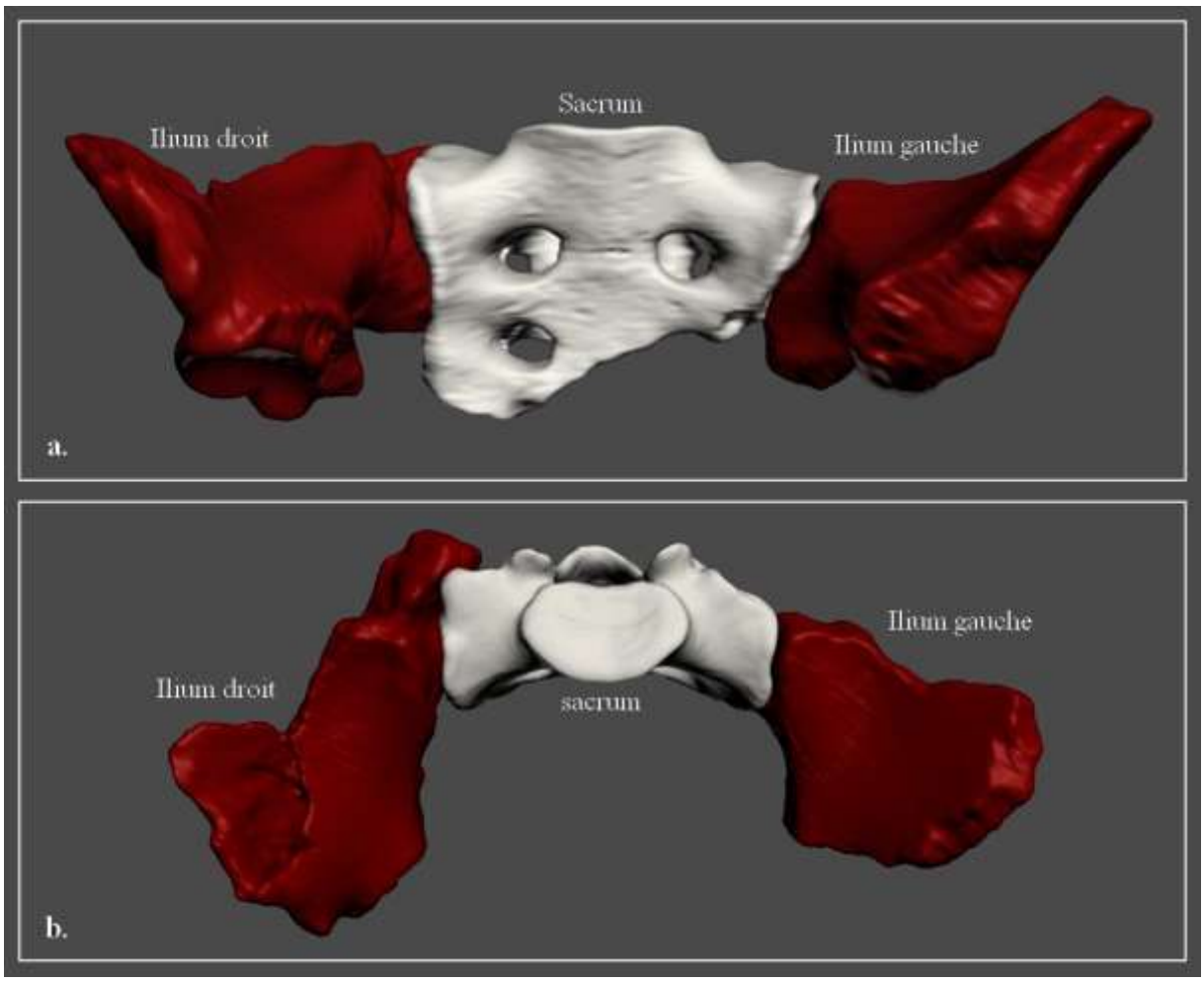


Figure 63. Reconstruction virtuelle de l'articulation sacro-iliaque

a. vue antérieure et b. vue supérieure. Les deux iliums (en rouge) ont été assemblés au sacrum (en blanc) virtuellement, grâce au logiciel 3Dsmax.

L'articulation sacro-iliaque a donc été construite « manuellement » avant d'être scannée et transformée en image virtuelle dans le but de procéder à une estimation de données manquantes.

IV.2.3. Comparaison des différentes reconstructions : choix de notre individu de référence.

Suivant ce protocole, et en tenant compte de l'asymétrie du bassin Regourdou 1, nous avons effectué trois reconstructions (voir p. 142) : une reconstruction globale, une reconstruction par symétrie des points droits et une reconstruction par symétrie des points gauches (Figure 64, Figure 65 et Figure 66).

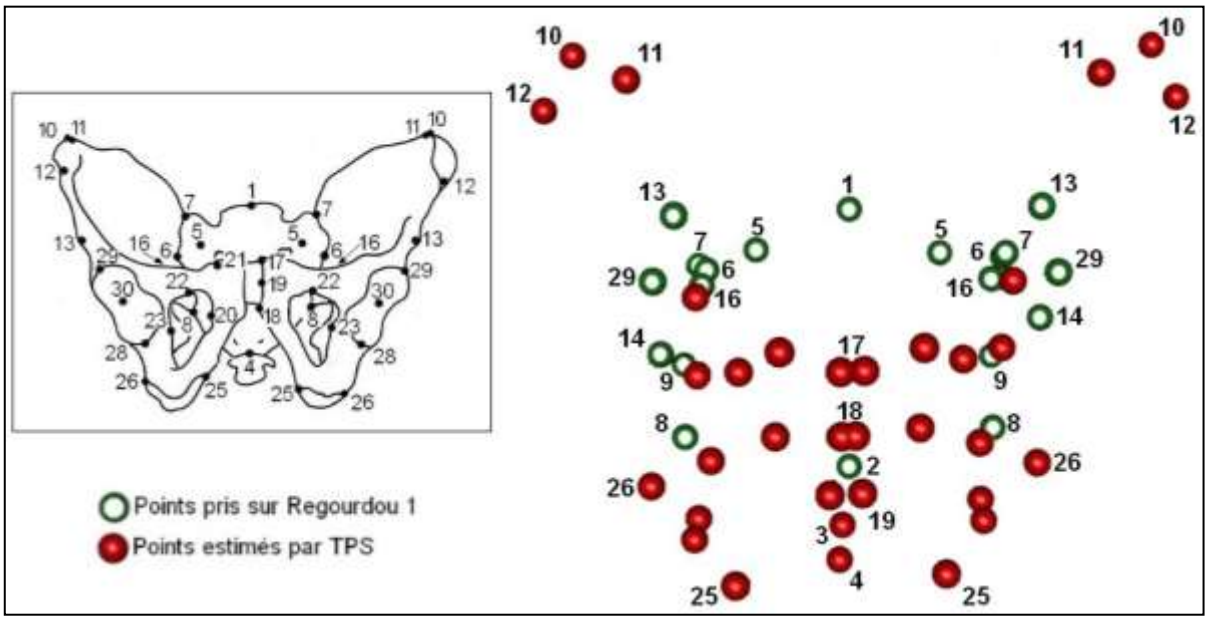


Figure 64. Reconstruction globale, vue antérieure.

La reconstruction par symétrie des points droits ainsi que la reconstruction globale présentent une morphologie qui respecte l'anatomie (Figure 64 et Figure 65). Ce n'est pas le cas de la reconstruction par symétrie des points gauches (Figure 66). On voit en effet que le nuage de points ne prend absolument pas la forme d'un bassin. Ce mauvais résultat peut s'expliquer par le fait que dans le cadre de cette estimation, 42 points sont manquants. Le

rapport entre les données connues et les données inconnues est donc trop faible pour que l'estimation soit anatomiquement correcte.

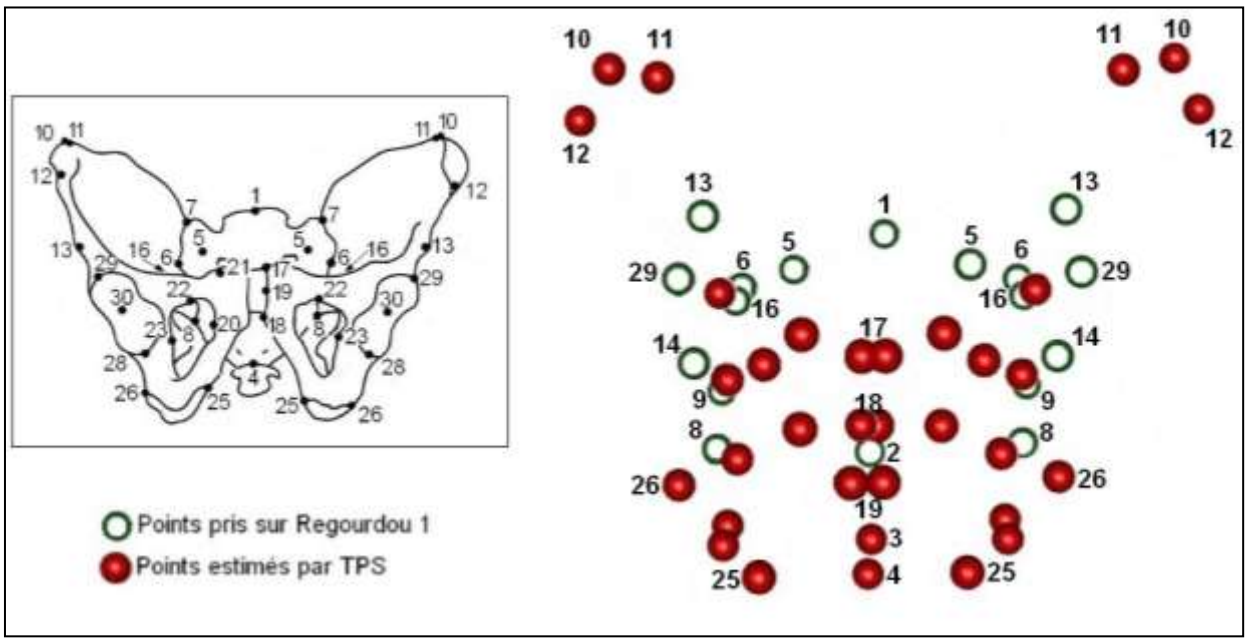


Figure 65. Reconstruction par symétrie droite, vue antérieure.

Il existe aussi des différences entre la reconstruction globale et la reconstruction par symétrie droite. Celles-ci sont dues au fait que dans la reconstruction globale, certains points sont pris directement sur l'ilium gauche alors que dans le cas de la reconstruction par symétrie droite, les points sont uniquement pris à droite et construits mathématiquement à gauche. Les points manquants estimés à partir de deux echantillons différents sont donc légèrement différents.

Les trois reconstructions et leur consensus[36], ont été disposées dans trois repères cartésiens formés par les diamètres antéropostérieurs et transversaux de chaque détroit (Figure 67). Les coordonnées de chaque individu correspondent, pour le détroit considéré, au diamètre antéro-postérieur pour l'abscisse et au diamètre transverse pour l'ordonnée.

[36] Nous avons calculé le consensus des trois reconstructions grâce à une analyse Procruste ordinaire.

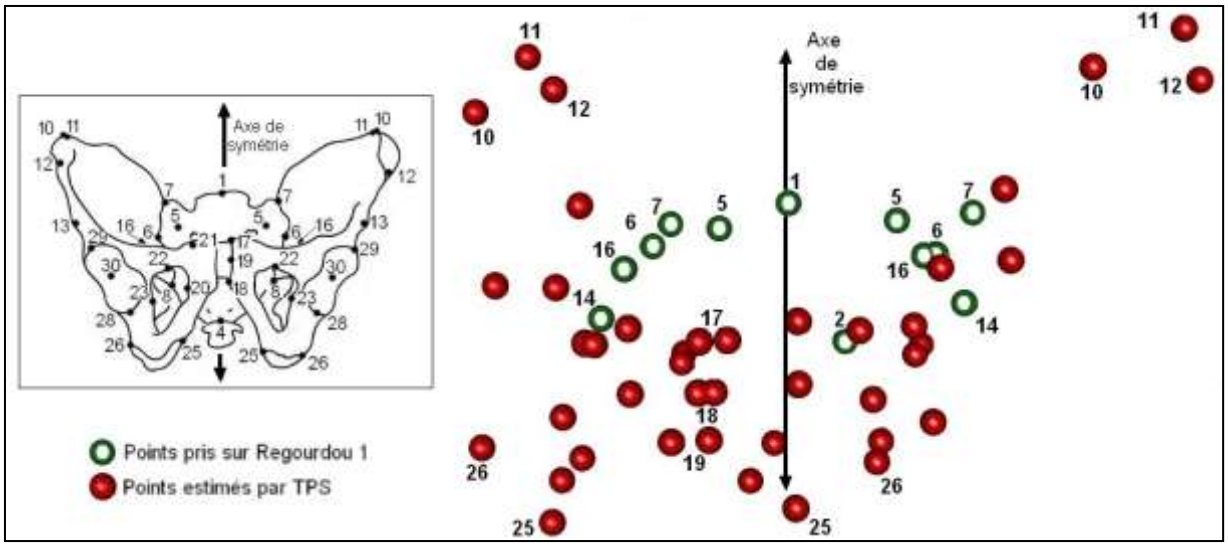


Figure 66. Reconstruction par symétrie gauche, vue antérieure.

Les reconstructions globale et symétrique droite sont positionnées de manière similaire tandis que la reconstruction symétrique gauche est très excentrée par rapport aux deux précédentes mais aussi par rapport à notre échantillon moderne. Pour chacun des détroits, le diamètre transverse de la reconstruction gauche est dans la variabilité moderne ce qui n'est pas le cas du diamètre antéropostérieur. Le canal pelvien reconstruit par symétrie gauche présente une morphologie très étroite antéropostérieurement, que nous pouvons qualifier d'hyper-platypelloïde. Or, une telle morphologie n'est pas conciliable avec la bipédie de type moderne, telle qu'elle a été observée chez les Néandertaliens (à partir, entre autres, de la morphologie fémorale). Cette reconstruction est donc aberrante.

L'analyse des résidus d'une analyse Procuste effectuée sur ces trois reconstructions confirme la nette différence entre la reconstruction globale et la reconstruction par symétrique droite d'une part et la reconstruction par symétrique gauche d'autre part (Tableau 21). En effet, si la différence moyenne entre les deux premières reconstructions est très faible, elle dépasse les 3 cm dès qu'on prend en compte la reconstruction par symétrique gauche.

Tableau 21. Différence moyenne entre les trois reconstructions virtuelles de Regourdou 1

Couple de reconstructions	Globale – symétrique droite	Globale – symétrique gauche	Symétrique droite – symétrique gauche
Différence moyenne (mm)	1,99	34,42	33,47

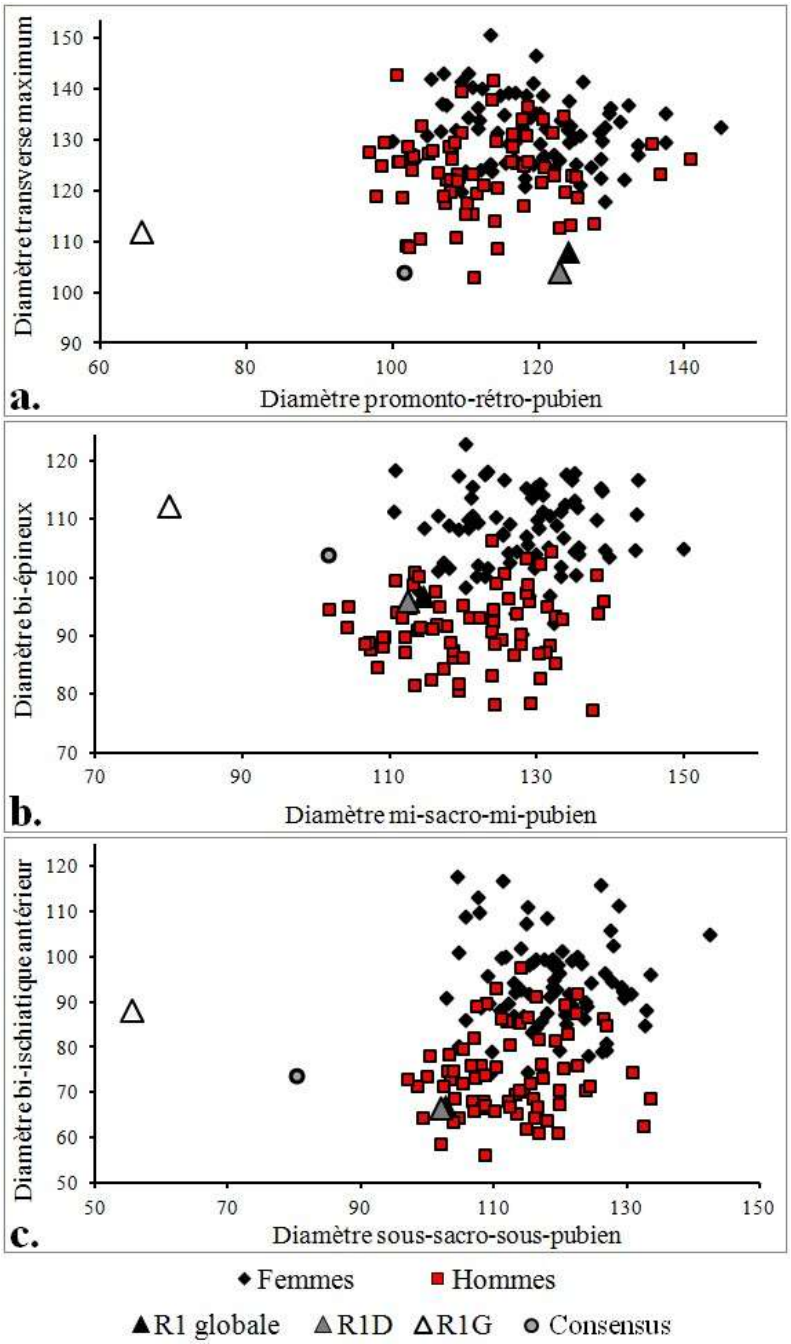


Figure 67. Positionnement des trois reconstructions virtuelles de Regourdou 1 et de leur consensus par rapport à un échantillon moderne

a. détroit supérieur, b. détroit moyen et c. détroit inférieur. R1 : reconstruction de Regourdou 1, par symétrie droite (R1D) ou gauche (R1G). L'individu consensus est calculé par analyse Procruste ordinaire.

Dans le cadre de notre analyse obstétricale, nous avons choisi comme spécimen d'étude la reconstruction globale. La reconstruction par symétrique droite est en effet intégralement basée sur la symétrie sagittale du bassin Regourdou 1. Or, on sait que cette symétrie est une construction mathématique et ne correspond pas à la réalité. Nous avons donc préféré la

reconstruction basée sur un maximum de points pris directement sur le spécimen d'origine afin de conserver le maximum d'informations biologiques.

Différents tests et études comparatives nous ont permis de déterminer la meilleure méthodologie pour reconstruire notre spécimen. Finalement, la reconstruction virtuelle de Regourdou 1 consiste en une succession de scans, de manipulations virtuelles et d'estimations de données manquantes. Considérant que sa représentation sous la forme d'un nuage de points dans l'espace virtuel en trois dimensions est difficile à visualiser clairement, nous avons préféré créer un modèle surfacique de ce bassin, grâce à la création de surfaces triangulaires.

IV.2.4. Création et visualisation d'une surface 3D.

Nous avons construit une surface 3D à partir des coordonnées des points de la reconstruction globale (Figure 68, Figure 69 et Figure 70). Cette surface 3D est faite de plusieurs surfaces triangulaires, ce qui explique son aspect très géométrique.

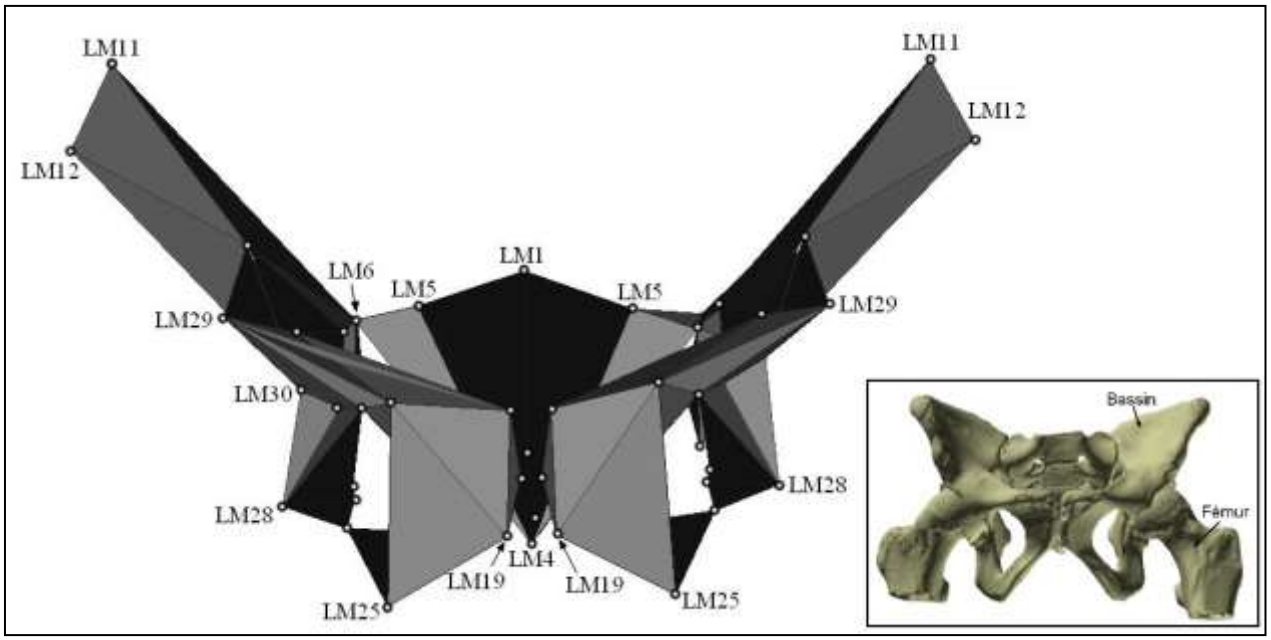


Figure 68. La reconstruction virtuelle de Regourdou 1 : vue antérieure de la surface 3D.
Cette surface a été générée grâce à la construction de 86 surfaces triangulaires à partir des 54 points de repères pris et estimés chez la reconstruction virtuelle globale de Regourdou 1.

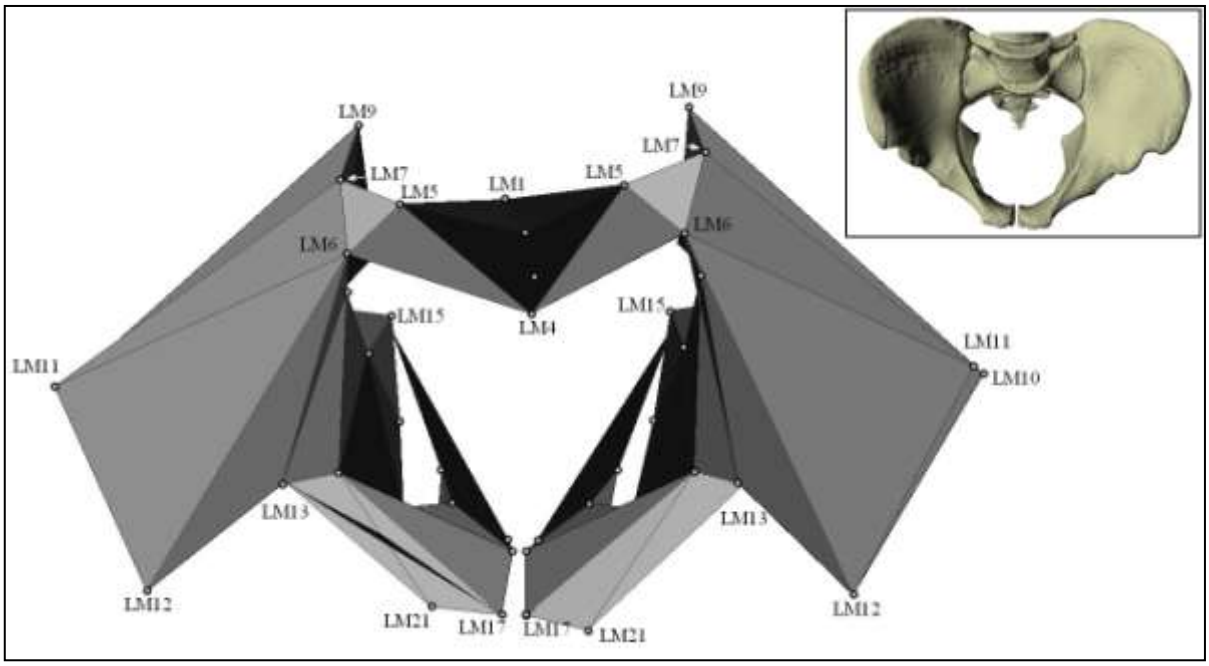


Figure 69. La reconstruction virtuelle de Regourdou 1 : vue supérieure de la surface 3D.
Cette surface a été générée grâce à la construction de 86 surfaces triangulaires à partir des 54 points de repères pris et estimés chez la reconstruction virtuelle globale de Regourdou 1.

L'aile iliaque de cette reconstruction a une morphologie particulière (voir particulièrement la Figure 70). L'absence de points sur la crête entre le point de repère 10 (au niveau de la tubérosité iliaque) et le point 9 (au niveau de l'épine iliaque postéro-supérieure) produit cet effet d'aile tronquée. Nous verrons que seul l'emploi de *semi-landmarks* permettrait de pallier cette absence. Cette morphologie n'a néanmoins aucune influence sur les résultats obstétricaux, l'aile iliaque faisant partie du grand bassin, qui n'a pas d'implication obstétricale.

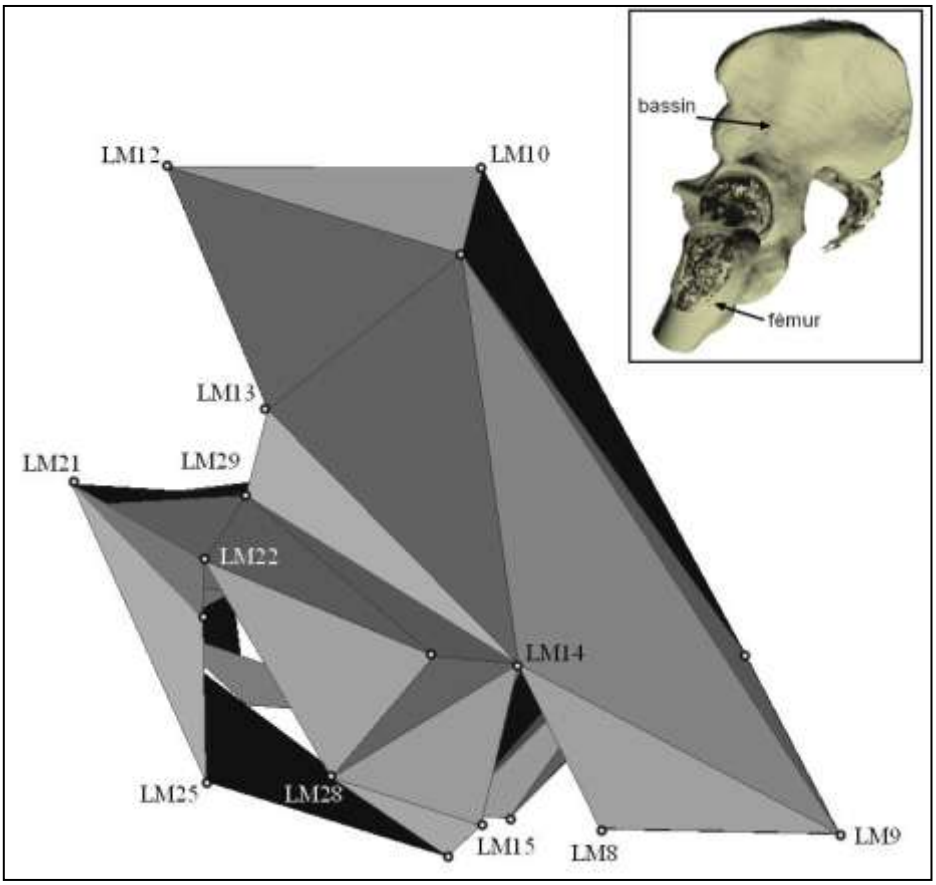


Figure 70. La reconstruction virtuelle de Regourdou 1 : vue latérale gauche de la surface 3D.
Cette surface a été générée grâce à la construction de 86 surfaces triangulaires à partir des 54 points de repères pris et estimés chez la reconstruction virtuelle globale de Regourdou 1.

Bilan : protocole de reconstruction virtuelle de Regourdou 1.

Différents tests comparatifs (statistiques ou techniques) nous ont permis de déterminer la meilleure méthodologie pour reconstruire notre spécimen. Ils ont principalement porté sur la méthode d'estimation des données manquantes et la reconstruction de l'articulation sacro-iliaque. Finalement, la reconstruction virtuelle de Regourdou 1 consiste en une succession de cinq étapes précises :

- L'articulation sacro-iliaque de Regourdou 1 est reconstruite grâce à de la plastiline ce qui permet de reformer la partie postérieure de la ceinture.
- L'ensemble sacrum-iliums est scanné grâce à un scanner hélicoïdal, les CT-scans sont retravaillés dans AMIRA® et les images virtuelles en trois dimensions sont ouvertes dans le logiciel TIVMI®.

- Les points disponibles sur cet ensemble (20 points) sont pris grâce au logiciel TIVMI®. Certains points absents à gauche mais présents à droite sont placés par symétrie. Les coordonnées cartésiennes des points sont extraites.
- Les coordonnées des points manquants (34 points) sont estimées par la méthode des thin-plate spline (TPS), sous R. L'individu de référence est Kebara 2.
- L'ensemble des coordonnées (présentes et estimées) est intégré à un fichier *.ply* qui permet la création d'un *mesh* polygonal par triangulisation. L'image 3D de la reconstruction virtuelle de Regourdou 1 est alors visible dans différents logiciels comme meshlab (http://meshlab.sourceforge.net/) ou TIVMI®.

IV.3. Caractéristiques du canal pelvien néandertalien et conséquences obstétricales.

Grâce à la reconstruction du bassin Regourdou 1, nous sommes en présence d'un nouveau canal pelvien néandertalien, dont les caractéristiques sont naturellement inédites et dont l'étude permettra d'apporter de nouvelles données sur l'obstétrique néandertalienne.

IV.3.1. Dimensions obstétricales de Regourdou 1 : comparaison avec Kebara 2, Tabun C1 et une population d'Hommes anatomiquement modernes

Les dimensions obstétricales ont été mesurées pour chaque individu grâce aux points de repère. L'incertitude inter et intra-observateur dans la localisation de ces points permet donc d'évaluer l'incertitude de chacune de ces dimensions : l'erreur maximale estimée est la somme de l'incertitude des deux points qui définissent la mesure. L'incertitude intra-observateur est inférieure à 6 mm, ce qui correspond à moins de 5% d'erreur ; pour l'analyse inter-observateur, les erreurs estimées sont plus importantes, jusqu'à 7 mm, soit 8 %. Les résultats sont regroupés dans le Tableau 22.

Tableau 22. Estimation de l'incertitude intra et inter-observateur des dimensions obstétricales

Erreur intra-observateur	Points considérés				Erreur maximale estimée	%
	Point 1	Erreur	Point 2	Erreur		
Promonto - rétro-pubien	LM1	1,08	LM17	0,75	1,83	1,6
Transverse Maximum	LM16	2,89	LM16	2,89	5,78	4,5
Oblique	LM6	0,46	LM24	1,28	1,74	1,2
Promonto - sous-pubien	LM1	1,08	LM19	0,75	1,83	1,4
Mi-sacro - pubien	LM2	0,86	LM18	0,74	1,6	1,3
Sous-sacro - sous-pubien	LM4	0,52	LM19	0,75	1,27	1,1
Bi-sciatique	LM15	0,59	LM15	0,59	1,18	1,2
Bi-cotyloïdien	LM31	0,62	LM31	0,62	1,24	1,1
Corde	LM1	1,08	LM4	0,52	1,6	1,5
Bi-ischiatique antérieur	LM25	2,35	LM25	2,35	4,7	3,5
Bi-ischiatique postérieur	LM26	1,61	LM26	1,61	3,22	3,8
Erreur inter-observateur	Points considérés				Erreur maximale estimée	%
	Point 1	Erreur	Point 2	Erreur		
Promonto - rétro-pubien	LM1	1,88	LM17	1,66	3,54	3,1
Transverse Maximum	LM16	2,53	LM16	2,53	5,06	4,0
Oblique	LM6	1,58	LM24	4,73	6,31	4,4
Promonto - sous-pubien	LM1	1,88	LM19	1,89	3,77	3,0
Mi-sacro - pubien	LM2	1,52	LM18	1,92	3,44	2,8
Sous-sacro - sous-pubien	LM4	1,78	LM19	1,84	3,62	3,1
Bi-sciatique	LM15	2,15	LM15	2,15	4,3	4,3
Bi-cotyloïdien	LM31	3,1	LM31	3,1	6,2	5,4
Corde	LM1	1,88	LM4	1,78	3,66	3,3
Bi-ischiatique antérieur	LM25	3,75	LM25	3,75	7,5	5,5
Bi-ischiatique postérieur	LM26	3,28	LM26	3,28	6,56	7,8

L'erreur a été estimée en additionnant l'erreur de localisation des deux points de repère associés à la dimension.

IV.3.1.1. Données métriques sur le canal pelvien de Regourdou 1

Les dimensions obstétricales de Regourdou 1 sont regroupées dans le Tableau 23 et comparées aux données modernes. La valeur Z (écart centré réduit) permet d'évaluer la différence entre les dimensions de Regourdou 1 et les dimensions modernes : par exemple, une valeur de +2 signifie que la dimension considérée chez Regourdou 1 est supérieure de deux écart-types à la valeur moyenne moderne. Aucune dimension aberrante (diamètre exceptionnellement petit ou grand) n'est observée chez Regourdou 1, nous pouvons donc considérer que notre reconstruction respecte la logique anatomique du canal pelvien et qu'elle se prête à des analyses des dimensions obstétricales.

Les dimensions de Regourdou 1 sont globalement plus petites que les dimensions modernes, masculines et féminines. Rappelons qu'en première partie, nous avons mis en évidence la petite taille générale du bassin Regourdou 1. Elle a donc des répercussions sur les dimensions obstétricales. Les diamètres obliques et transverse maximum de cet individu sont plus petits que la moyennes modernes (Z<-2) tandis que le diamètre promonto-rétropubien est légèrement plus grand (Z=0,5). Ceci indique un détroit supérieur plus étroit que ce que l'on observe en moyenne dans notre population de référence. Les valeurs Z du détroit moyen sont comprises entre -1,5 et -2,1. Les dimensions obstétricales de la cavité pelvienne de Regourdou 1 sont donc plus petites que la moyenne moderne. Enfin, le détroit inférieur de Regourdou 1, avec des valeurs Z allant jusqu'à -4,8, est très petit par rapport à la population moderne, avec notamment un très court diamètre bi-ischiatique postérieur. Cette disparité entre les trois détroits s'exprime aussi dans les dimensions volumiques et surfaciques. En effet, l'aire du détroit inférieur est nettement plus petite que la moyenne moderne (Z = -2,5 et -4,3), tandis que les aires des détroits supérieur et moyen sont comparables à ce que l'on observe au sein de l'échantillon masculin de notre population. Le volume de la cavité pelvienne et du canal pelvien est très faible chez Regourdou 1, par rapport à la moyenne moderne.

Finalement, l'analyse des données métriques des dimensions obstétricales du bassin Regourdou 1 montre d'une part que son canal pelvien est globalement plus petit que le canal moyen de la population moderne et d'autre part que cette petite taille est nettement marquée au niveau du détroit inférieur. Par ailleurs, la morphologie du détroit supérieur de Regourdou 1 est différente de la morphologie moderne, avec un indice supérieur à 1. Nous pouvons aussi noter que, si nous comparons les valeurs Z par rapport à l'échantillon féminin avec les valeurs Z (Tableau 23) par rapport à l'échantillon masculin, Regourdou 1 est généralement plus proche de la moyenne masculine, sans qu'aucune réelle tendance ne se dessine.

Tableau 23. Récapitulatif des dimensions obstétricales de Regourdou 1, associées aux statistiques descriptives de notre échantillon moderne.

Mesures linéaires (mm)		Femmes N	Femmes $\bar{x}$	Femmes σ	Hommes N	Hommes $\bar{x}$	Hommes σ	Regour-dou 1	Z F	Z H
Détroit Supérieur	Promonto-rétropubien	78	119,4	8,9	73	112,5	9,4	124	0,5	1,2
	Transverse maximum	78	131,9	6,7	73	124,1	8	108,1	-3,6	-2,0
	Oblique droit	78	143,8	7,2	73	141	7,3	123,5	-2,8	-2,4
	Oblique gauche	78	140,6	5,9	73	137,8	6,7	127,4	-2,2	-1,6
Détroit Moyen	Promonto-sous-pubien	78	128,6	8,7	73	124,7	10,2	115,2	-1,5	-0,9
	Mi-sacro-pubien	78	128,2	7,9	73	120,9	9,2	114,6	-1,7	-0,7
	Bisciatique (ou bispineux)	78	107,9	6,8	73	91,7	6,4	96,8	-1,6	0,8
	Transverse bi-cotyloïde	78	120,5	7,7	73	110,8	10,3	104,4	-2,1	-0,6
	Corde sacrée	78	106,7	11,6	73	112,2	10,2	86,1	-1,8	-2,6
Détroit Inférieur	Sous-sacro-sous-pubien	78	118,7	8,1	73	112,6	8,2	102,8	-2,0	-1,2
	Bi-ischiatique postérieur	78	142,6	9,2	73	127,7	10,1	98,6	-4,8	-2,9
	Bi-ischiatique antérieur	78	94,4	9,9	73	74,4	9,3	66,9	-2,8	-0,8
Indices										
Sup.	PRP/TrMax	78	90	9	73	91	9	115	2,0	2,0
Moyen	MSP/Bi-épi	78	119	12	73	137	15	119	0,0	-2,0
Inf.	SSP/BIA	78	127	16	73	153	21	154	1,0	0,0
Aires, circonférences et volumes										
Aire (cm²)	Détroit supérieur	78	123,2	10,2	73	109,9	11,5	105,3	-1,8	-0,4
	Détroit moyen	78	108,6	9,6	73	87,1	9,5	87,1	-2,2	0,0
	Détroit inférieur	78	132,9	12,5	73	113,1	13,4	79,6	-4,3	-2,5
Circon-férence (cm)	Détroit supérieur	78	42,4	1,6	73	41,3	1,8	39,1	-2,1	-1,2
	Détroit moyen	78	41,7	1,4	73	39,6	2,1	36,8	-3,5	-1,3
	Détroit inférieur	78	43,9	4,1	73	42,4	2,1	32,3	-2,8	-4,8
Volume (ml)	Canal pelvien	78	1206,7	146,1	73	1145,4	182,2	692	-3,5	-2,5
	Cavité pelvienne *s.s.*	78	960,7	113,5	73	911,6	148,7	609,6	-3,1	-2,0

N : effectif ; $\bar{x}$: moyenne ; σ : écart type ; Z : Z-score

L'ensemble des individus de notre population de référence et trois individus néandertaliens (Tabun C1 et Kebara 2) ont été disposés dans un repère cartésien, pour chacun des trois détroits (Figure 71, Figure 72 et Figure 73). Les coordonnées de chaque individu

correspondent, pour le détroit considéré, au diamètre antéro-postérieur pour l'abscisse et au diamètre transverse pour l'ordonnée.

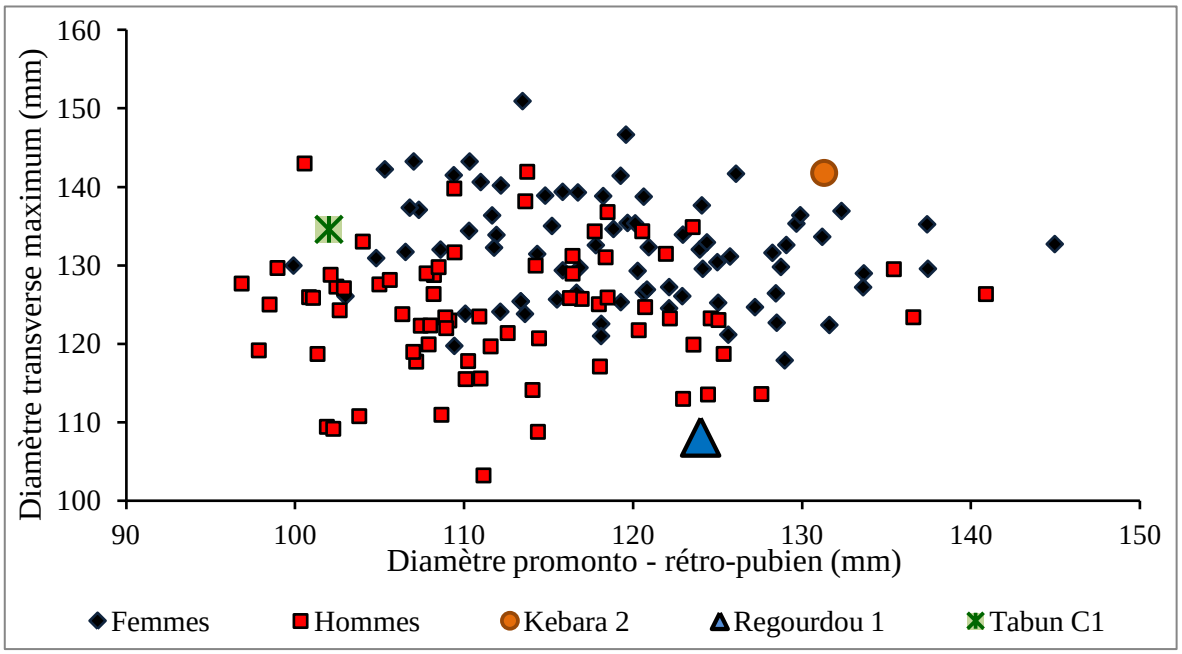


Figure 71. Positionnement de trois spécimens néandertaliens par rapport à un échantillon moderne : détroit supérieur.

Dans les trois cas, l'individu Regourdou 1 se trouve dans la variabilité des Hommes anatomiquement modernes. En ce qui concerne le détroit supérieur (Figure 71), il est situé en bordure de la variabilité de ce groupe, ce qui peut s'expliquer par l'association entre un diamètre transverse, plus petit que la moyenne moderne et un diamètre promonto-rétro-pubien de Regourdou 1, proche de la moyenne moderne. Dans le cas du détroit moyen (Figure 72), Regourdou 1 est intégré au groupe moderne, même s'il est plus petit que la majeure partie des individus. Finalement, dans le cas du détroit inférieur, Regourdou 1 est dans la partie basse de la variabilité moderne en raison de diamètres légèrement plus petits que l'ensemble des individus (Figure 73). Il est intéressant de noter que, prise indépendamment, la valeur de chacun de ces deux diamètres ne s'écarte pas des données féminines extrêmes, mais que c'est l'association des deux qui distingue Regourdou 1.

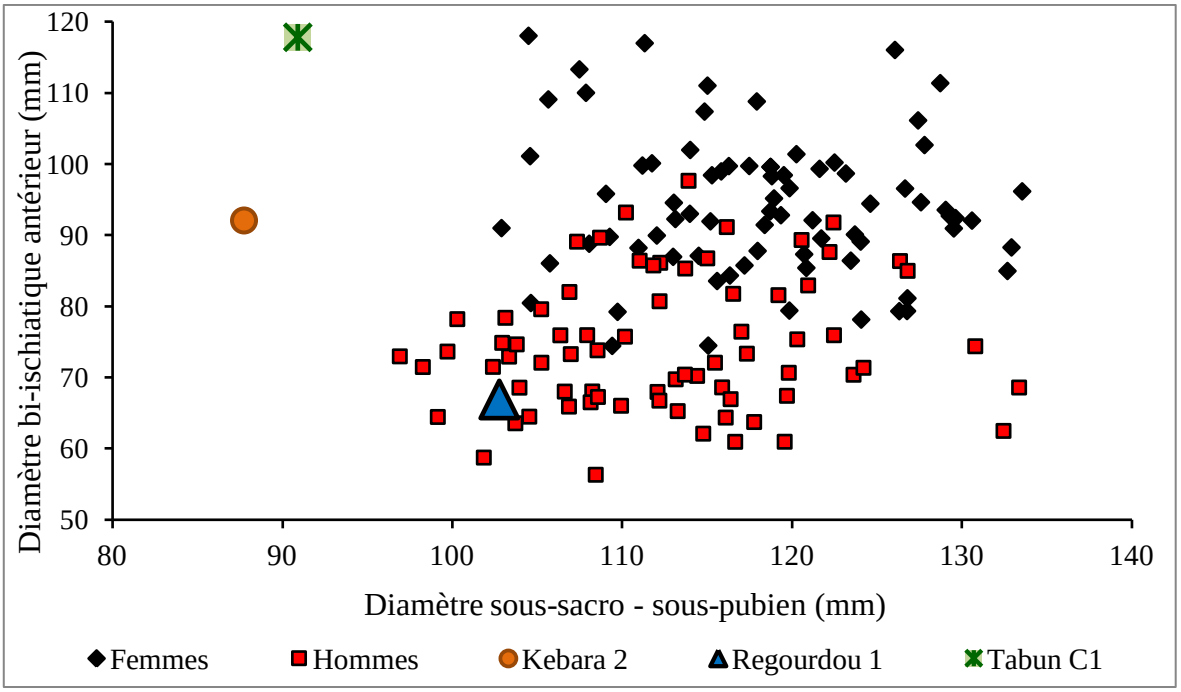


Figure 72. Positionnement des trois spécimens néandertaliens par rapport à un échantillon moderne : détroit moyen.

Dans ces trois graphiques, la position des deux autres Néandertaliens (Tabun C1 et Kebara 2) est très différente de celle de Regourdou 1, notamment pour les détroits moyen et inférieur (Figure 72 et Figure 73). Cela soulève la question de la variabilité morphologique néandertalienne.

Dans le cadre du détroit moyen (Figure 72), on remarque que Kebara 2 présente un diamètre bi-épineux plutôt « féminin » et un diamètre mi-sacro-pubien plutôt « masculin », si l'on se réfère à la variabilité moderne présentée par notre échantillon, ce qui le place hors du groupe moderne ; son diamètre antéropostérieur est effectivement très court. Or, on remarque que, dans le cas du détroit inférieur (Figure 73), le diamètre antéropostérieur de Kebara 2 est à nouveau plus court que ce qu'on observe chez les individus modernes et que c'est ce qui explique sa position hors du groupe moderne. Notre interprétation, à ce stade de l'analyse, est que les diamètres antéropostérieurs des détroits moyen et inférieur de Kebara 2 sont extrêmement petits, si on les compare à d'autres dimensions obstétricales du même individu. Cette petitesse pourrait être due aux pathologies et aux déformations que présente Kebara 2, notamment au niveau de l'articulation sacro-iliaque (Duday et Arensburg 1991). Ces atteintes peuvent avoir une influence sur la position du sacrum lors de la reconstruction de la ceinture.

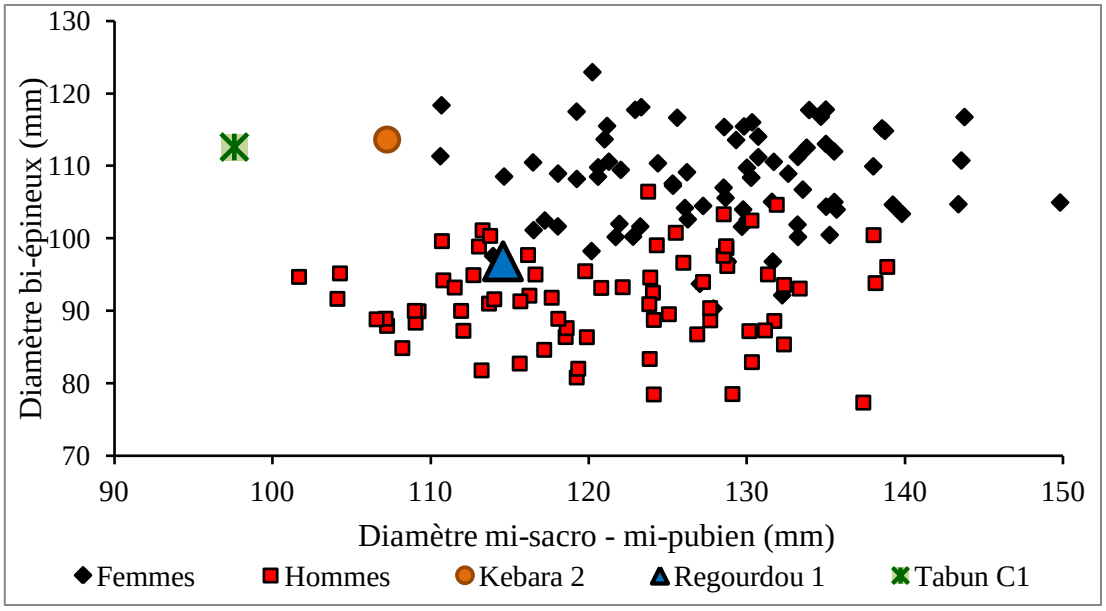


Figure 73. Positionnement des trois spécimens néandertaliens par rapport à un échantillon moderne : détroit inférieur.

La localisation de Tabun C1 par rapport à l'échantillon moderne présente les mêmes caractéristiques : des diamètres mi-sacro – mi-pubien et sous-sacro – sous-pubien de petite dimension. La redondance de ce caractère pourrait traduire une caractéristique plus globale du bassin néandertalien, voire une autapomorphie. La position particulière du sacrum, dont l'apex est très avancé dans la cavité pelvienne, avec comme répercussion des diamètres antéropostérieurs petits pour les détroits moyen et inférieur, pourrait ainsi être un caractère dérivé des Néandertaliens. Toutefois, les réserves qu'il faut émettre sur la reconstruction de Tabun C1 et celle de Kebara 2, ainsi que le fait que nous n'observons pas ce caractère chez Regourdou 1 (ou tout au moins, dans une moindre mesure au niveau du détroit inférieur) infirment cette hypothèse.

IV.3.1.2. Analyse de la distance probabiliste entre Regourdou 1, Kebara 2 et Tabun C1, et la population anatomiquement moderne

Nous avons vu qu'il existe certaines différences entre les dimensions obstétricales de Regourdou 1, de Tabun C1, de Kebara 2 et celles de l'échantillon d'Hommes anatomiquement modernes. Une analyse statistique de ces différences est nécessaire pour les discuter de manière plus approfondie. Pour mieux comprendre la position de Regourdou 1 et des autres

spécimens néandertaliens par rapport à la variabilité moderne, nous avons analysé sa distance probabiliste à notre population moderne (Figure 74).

Nos résultats confirment l'analyse du Tableau 23 : la position de l'individu Regourdou 1 par rapport à la population d'Hommes anatomiquement modernes est très variable. Toutefois, nous pouvons noter que globalement, Regourdou 1 est dans la moitié inférieure de la variabilité moderne (ERA compris entre -1 et 0). Dans le cas des données linéaires, seul le diamètre promonto-rétro-pubien a un ERA supérieur à 0.

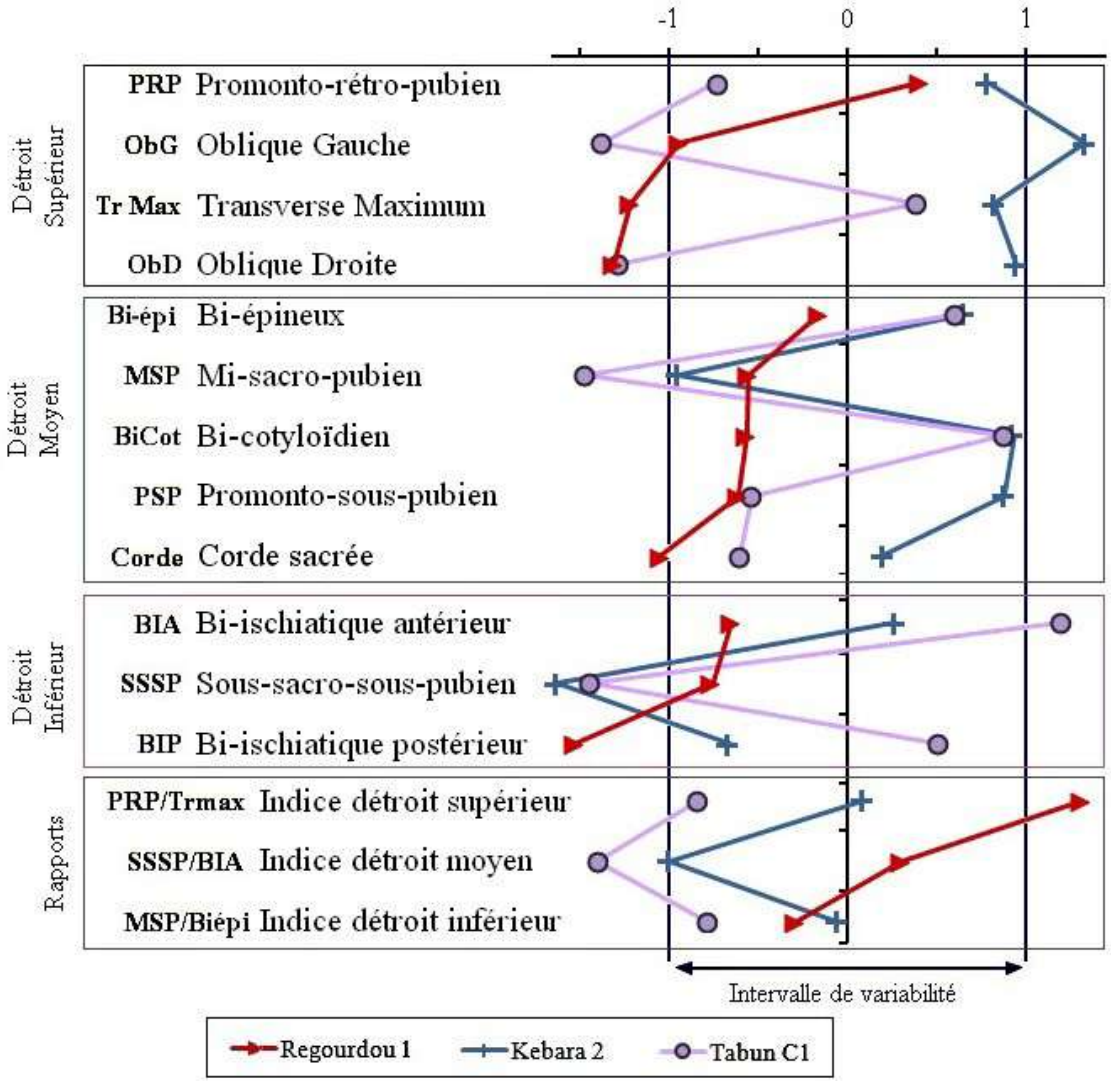


Figure 74. Analyse de la distance probabiliste de Regourdou 1, Kebara 2, Tabun C1 relativement à un échantillon d'Hommes anatomiquement modernes

Valeurs de l'ERA concernant les données linéaires et les indices. Effectif moderne = 151. Les dimensions sont définies p. 146.

Le détroit supérieur montre en effet une morphologie particulière. Contrairement à tous les autres diamètres obstétricaux inclus dans nos travaux, le diamètre PRP est dans la partie haute de la variabilité moderne (ERA>0), tandis que le diamètre transverse maximum sort nettement de la variabilité moderne à cause de sa taille réduite. Même si nous supposons que la petite taille générale de Regourdou 1 explique cette dimension, il est difficilement concevable qu'un effet de taille « générale » ne touche qu'un seul diamètre. Dans la mesure où seuls deux diamètres transverses (le diamètre transverse maximum et le diamètre bi-ischiatique postérieur) sortent de la variabilité, une autre explication doit être proposée. D'abord, la reconstruction virtuelle et plus précisément la reconstitution de l'articulation sacro-iliaque est peut-être à l'origine de ce résultat : la distance entre les deux lignes arquées (représentée par le diamètre transverse maximum) dépend beaucoup de la façon dont sont placés les deux iliums, l'un par rapport à l'autre. Ensuite, cette petitesse du diamètre transverse maximum peut aussi être mise en relation avec l'asymétrie de la ceinture pelvienne. L'asymétrie du sacrum, mise en évidence partie IV.1 a une influence sur les dimensions obstétricales de Regourdou 1, comme le montre la différence entre le diamètre oblique droit et le diamètre oblique gauche, le premier étant plus petit que le second.

La présence d'un détroit transverse très petit et d'un détroit antéropostérieur plutôt grand a une influence sur l'indice du détroit supérieur, nettement plus élevé que chez les Hommes anatomiquement modernes. Le détroit supérieur de Regourdou 1 est donc plus étroit transversalement avec un grand axe antéropostérieur. Par contre, l'aire et la circonférence du détroit supérieur (Figure 75) sont petites mais non significativement différentes de ce qu'on observe chez l'Homme moderne (ERA = [-1 ; 0]). La différence entre le détroit supérieur de Regourdou 1 et le détroit supérieur moderne est la conséquence de sa conformation plutôt que de sa forme.

Les diamètres du détroit moyen de Regourdou 1 sont petits mais tous inclus dans la variabilité moderne. Ni le diamètre antéropostérieur, ni le diamètre transversal ne s'éloignent de la moyenne moderne et l'indice de ce détroit est très proche de l'indice moyen du détroit moyen moderne. La forme du détroit moyen est donc comparable à celle de la population moderne. Par ailleurs, le diamètre bi-épineux de Regourdou 1 est très proche de la valeur moyenne moderne. Ce diamètre est très important d'un point de vue obstétrical car le passage

du fœtus entre les épines sciatiques présente un fort risque de dystocie (Farabeuf et Vanier 1908 ; Malinas 1995). Ces premiers résultats montrent donc que, avec un diamètre équivalent, la difficulté que pourrait représenter la traversée du détroit moyen par la tête fœtale chez l'individu Regourdou 1 est comparable à ce qu'on observe chez l'Homme anatomiquement moderne. Par ailleurs, la circonférence et l'aire de ce détroit ne sont pas différents de ce qu'on observe chez l'Homme moderne (Figure 75).

Dans le cas du détroit inférieur, nous retrouvons l'influence de la petite taille de Regourdou 1. Le diamètre antéropostérieur et le diamètre transverse antérieur s'inscrivent tous deux dans la moitié inférieure de la variabilité moderne. Ce n'est pas le cas du diamètre bi-ischiatique postérieur qui en est exclu (ERA<-1). Or ce diamètre est calculé grâce à des points dont la localisation est estimée à partir des points équivalents chez Kebara 2. Quand on regarde Kebara 2, on observe la même diminution de l'ERA au niveau de ce diamètre. Il est possible que nous ayons ici la marque d'une certaine influence de l'individu de référence sur la reconstruction finale. De plus, les deux diamètres transversaux du détroit inférieur sont les plus sujets à une erreur d'estimation, comprise entre 10 et 20 mm (voir Annexes, p. xiii), ce qui peut aussi influencer nos résultats. Enfin, l'aire et la circonférence de ce détroit sont significativement plus petites que la moyenne moderne (Figure 75). Les dimensions de la partie inférieure du canal pelvien de Regourdou 1 sont donc différentes de ce qu'on observe sur la population moderne.

Finalement, le canal pelvien de Regourdou 1 présente des différences avec le canal pelvien moderne à deux niveaux : son détroit supérieur est plus allongé dans le sens antéropostérieur et son détroit inférieur est significativement plus petit.

En ce qui concerne les dimensions de son canal pelvien, Kebara 2 est généralement plus grand que Regourdou 1, et il est dans la variabilité haute de l'échantillon moderne (Figure 75). Pourtant, les diamètres sous-sacro-sous-pubien et mi-sacro-pubien sont remarquablement petits, contrairement au diamètre promonto-rétro-pubien. Cette même observation est faite sur Tabun C1, chez qui les diamètres antéropostérieurs des détroits moyens et inférieurs sont significativement différents des dimensions modernes. Ces deux individus néandertaliens

présentent donc un canal pelvien raccourci antéropostérieurement dans sa partie inférieure, comme le confirment les valeurs des indices des deux détroits. L'individu Tabun C1 présente d'ailleurs un canal pelvien globalement plus aplati antéropostérieurement que le canal pelvien moyen moderne. Cette variation entre Tabun C1, Kebara 2 et Regourdou 1 reflètent peut-être la variabilité morphologique néandertalienne. Nous verrons (dans la partie discussion) qu'elle peut en partie être imputée à la reconstruction de Tabun C1.

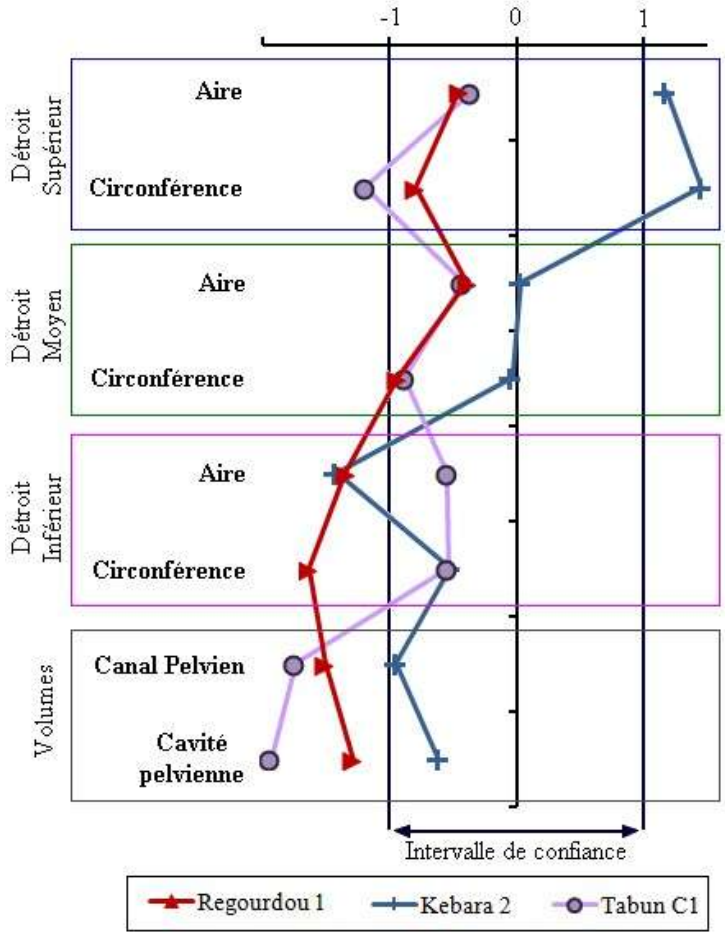


Figure 75. Analyse de la distance probabiliste entre Regourdou 1, Kebara 2, Tabun C1 et un échantillon d'Hommes anatomiquement modernes ; volumes, aires et circonférences.

Valeurs de l'ERA concernant les volumes et les surfaces. Effectif moderne = 151.

Regourdou 1 a un détroit supérieur dont les dimensions linéaires sont différentes du détroit moderne sans que cela ait de répercussions sur son aire ou sa circonférence, un détroit moyen bien intégré à la variabilité moderne et un détroit inférieur significativement plus petit que dans notre population moderne. Cela traduit une morphologie particulière : le canal pelvien de Regourdou 1 se caractérise par la petitesse de sa partie inférieure relativement à sa

partie supérieure. Ce dernier trait est observé dans une moindre mesure chez Kebara 2 mais pas chez Tabun C1. Ici aussi se pose la question de la variabilité morphologique néandertalienne. Contrairement à ce que nous avons observé pour les dimensions linéaires, nous pouvons former deux groupes : Regourdou 1 et Kebara 2 d'une part, Tabun C1 d'autre part. La variation entre ces deux groupes peut s'expliquer par la variabilité intra-populationnelle, mais aussi par le choix de la reconstruction de Tabun C1 [nous verrons que la reconstruction de (Weaver et Hublin 2009) a ses limites] ou encore par le fait que, Regourdou 1 ayant été reconstruit à partir de Kebara 2, sa morphologie soit plus proche de celui-ci.

Que l'on considère le canal pelvien ou la cavité pelvienne au sens strict (rappelons que cette dernière dimension ne prend pas en compte le volume compris entre le détroit moyen et le détroit inférieur), Regourdou 1 est bien inférieur à ce que l'on observe chez les individus modernes, hommes ou femmes (Figure 76). Cette différence est significative (ERA compris entre [-1,9 ; -1,3]) sauf dans le cas de la distance entre le volume de la cavité pelvienne *s.s.* chez Regourdou 1 et chez les hommes (ERA=-0,95). On observe une nette différence de comportement entre le volume du canal pelvien et celui de la cavité pelvienne *sensu stricto*, qui ne prend pas en compte la partie inférieure du canal. Pour Regourdou 1 et Kebara 2, le volume de la cavité pelvienne est plus proche de la moyenne moderne que ne l'est celui du canal pelvien. Le volume du canal inférieur est donc très petit, par rapport à ce qu'on observe dans la population moderne. Cela confirme que, chez ces deux individus, les dimensions de la partie inférieure du canal sont particulièrement petites, par rapport à la population moderne d'une part, mais aussi par rapport aux dimensions des détroits moyens et supérieurs d'autre part. Cette caractéristique est observée, dans une moindre mesure, chez Tabun C1.

L'importante différence entre les volumes pelviens moderne et néandertalien doit nous interpeller dans le cadre de notre analyse obstétricale. Nous avons vu dans notre état de l'art que les dimensions fœtales néandertaliennes, et particulièrement le volume endocrânien, sont comparables aux dimensions modernes (voir p. 86). D'après nos résultats, lors de l'accouchement néandertalien, un fœtus, de mêmes dimensions que les fœtus modernes, traverse un canal pelvien moins volumineux. Sans aborder encore la description précise des mécaniques obstétricales néandertaliennes, nous pouvons dès à présent proposer l'hypothèse

que l'accouchement néandertalien est tout aussi, voire plus, compliqué que l'accouchement moderne.

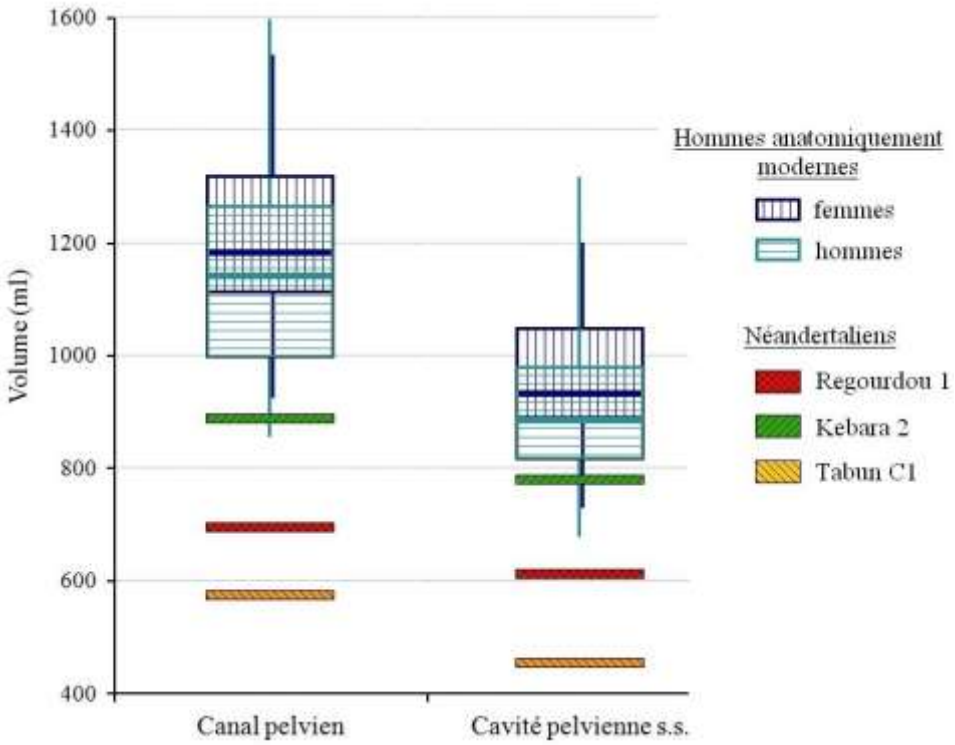


Figure 76. Volume de la cavité pelvienne : données modernes et néandertaliennes.
Les boxplots représentent les statistiques descriptives d'une série de 151 Hommes anatomiquement modernes.

Finalement, nous avons mis en évidence que Regourdou 1 présente :

- un détroit supérieur dont les dimensions sont intégrés au sein de la variabilité moderne et qui est plus allongé antéropostérieurement (diamètre transverse maximum court, diamètre promonto-rétro-pubien relativement long).

- un détroit moyen de forme et de dimensions comparables au détroit moderne (notamment en ce qui concerne le diamètre bi-épineux, dimension particulièrement importante en obstétrique).

- un détroit inférieur légèrement aplati transversalement (diamètre bi-ischiatique postérieur court) et surtout petit (notamment au niveau des diamètres bi-ischiatiques).

- un canal pelvien dont la partie inférieure (entre les détroits moyens et inférieurs) est plus petite que sa partie supérieure, relativement à l'Homme moderne.

Nous avons aussi mis en évidence que les détroits inférieurs de Tabun C1 et Kebara 2 sont particulièrement aplatis antéropostérieurement et que ces deux individus présentent, comme Regourdou 1, un canal pelvien dont la partie inférieure est de petites dimensions.

IV.3.1.3. Données de l'analyse en composantes principales

Nous avons vu, dans la première partie de nos résultats, que dans le cas du groupe des Néandertaliens, l'analyse multivariée des dimensions permet d'obtenir des résultats plus complets. Dans le cas de Regourdou 1 et Tabun C1 (des individus relativement petits) cela permettrait de plus de diminuer l'effet de la taille. Nous avons donc opéré une analyse en composantes principales de l'ensemble des dimensions obstétricales de notre échantillon moderne et des trois spécimens néandertaliens.

Quelque soit le plan considéré, Regourdou 1 est toujours situé au sein de la variabilité moderne (Figure 77). Aucune dimension obstétricale ne permet de séparer Regourdou 1 de l'échantillon moderne. Les différences observées sur les diamètres obstétricaux lors de l'analyse de la distance probabiliste peuvent donc être globalement imputées à la petite taille de cet individu.

La position de Tabun C1 est corrélée négativement aux diamètres sous-sacro-sous-pubien et mi-sacro-pubien ainsi qu'à l'indice SSP/BIA. L'analyse en composantes principales confirme donc nos premières conclusions sur la morphologie du canal pelvien de Tabun C1 : les dimensions antéropostérieures des détroits moyen et inférieur du canal pelvien de ce fossile sont très petites tandis que leurs dimensions transverses sont grandes. L'indice de ces deux détroits est faible ce qui indique que le canal pelvien de Tabun C1 présente donc un raccourcissement antéropostérieur dans sa partie basse, par rapport aux canaux pelviens modernes. Nous pouvons parler ici de platypelloïdie. De même, la séparation entre l'individu Kebara 2 et le groupe moderne suivant l'axe 3 est la conséquence des diamètres sous-sacro-sous-pubien et mi-sacro-pubien relativement petits (Figure 77). La morphologie des détroits inférieurs et moyens des deux individus néandertaliens Kebara 2 et Tabun C1 est comparable, avec un raccourcissement des dimensions antéropostérieures ; Regourdou 1, en revanche, ne présente pas une telle morphologie.

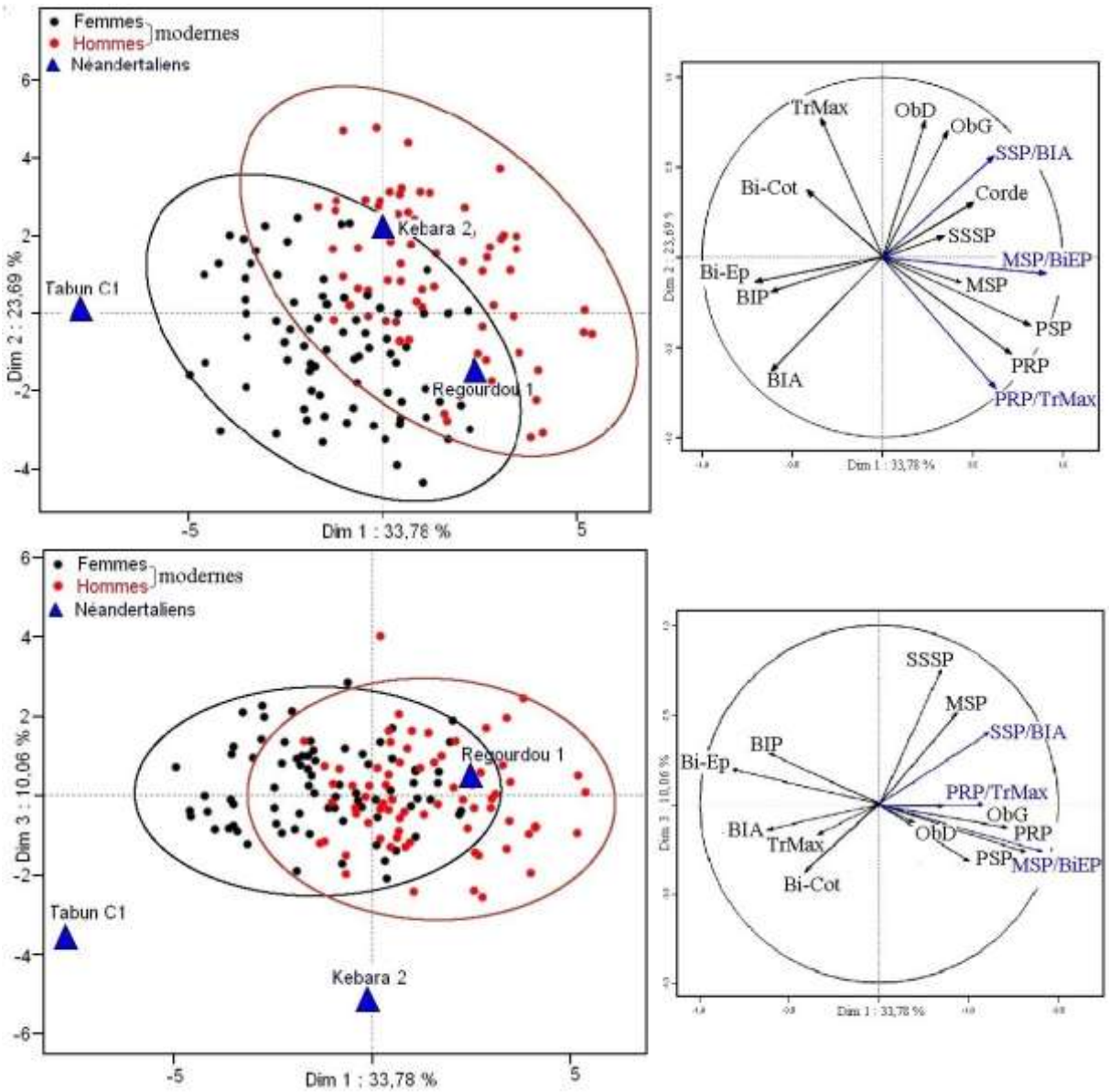


Figure 77. Analyse en composantes principales des dimensions obstétricales. Données linéaires et indices.

L'analyse est effectuée à partir d'un échantillon de 154 individus, dont 3 néandertaliens, sur 14 mesures. Les dimensions sont définies p. 146 et P. 220

Au sein de l'échantillon moderne (et plus précisément masculin), Regourdou 1 a une position légèrement excentrée, bien corrélée au diamètre promonto-rétro-pubien (Figure 77). Elle est par contre corrélée négativement au diamètre transverse maximum. Ces deux dimensions ne distinguent pas Regourdou 1 de la variabilité moderne mais mettent en évidence que le canal pelvien de celui-ci a une morphologie différente de la morphologie moderne, avec notamment un détroit supérieur plus long.

L'analyse en composantes principales concernant les aires, les volumes et les circonférences permet de discriminer les Néandertaliens de la population moderne (Figure 78). La distinction se fait principalement selon les volumes de la cavité et du canal pelviens ainsi que l'aire et la circonférence du détroit inférieur. Les individus néandertaliens présentent donc une cavité pelvienne moins volumineuse que ce qu'on observe dans le groupe moderne. Dans notre travail sur les dimensions obstétricales, c'est la plus grande discrimination entre ces deux groupes. Elle a son importance car, en obstétrique, le volume de la cavité et l'aire d'engagement sont deux paramètres essentiels pour le bon déroulement de l'accouchement. Le dernier chapitre de cette partie s'attache à la reconstitution de la relation céphalo-pelvienne, nous verrons quel peut être l'impact de ce petit volume sur les mécaniques obstétricales néandertaliennes.

Pour expliquer le petit volume de Regourdou 1, nous pouvons considérer deux facteurs. D'abord, la multiplication (d'un point de vue mathématique) de données petites induit une multiplication de cette petitesse ; les faibles dimensions linéaires du détroit inférieur de Regourdou 1 ont comme résultat une petite aire, et un volume encore plus petit. Ensuite, notre estimation du volume utilise aussi certaines dimensions absentes de cette analyse comme la différence de hauteur entre chaque détroit ; la position hors-variabilité de la corde sacrée de Regourdou 1 dans notre analyse de la distance probabiliste montre que la hauteur du canal pelvien de cet individu est petite. Cela nous permet de comprendre pourquoi, malgré des dimensions linéaires dans la variabilité, le volume de la cavité pelvienne de Regourdou 1 distingue nettement cet individu de la population moderne.

Nos analyses en composantes principales ont montré que rien ne semble différencier les dimensions obstétricales linéaires de l'individu Regourdou 1 des dimensions modernes, mettant ainsi en évidence l'importance de l'influence de la taille générale de Regourdou 1 sur nos premiers résultats. Certaines observations, notamment sur la position de cet individu au sein des deux sexes, ont néanmoins montré que Regourdou 1 présente un détroit supérieur plus allongé antéropostérieurement que la moyenne moderne, sans que cela le fasse sortir de la variabilité du groupe moderne. À l'inverse, l'aplatissement antéropostérieur des détroits

moyens et inférieurs de Tabun C1 et Kebara 2 les distingue nettement de la variabilité moderne.

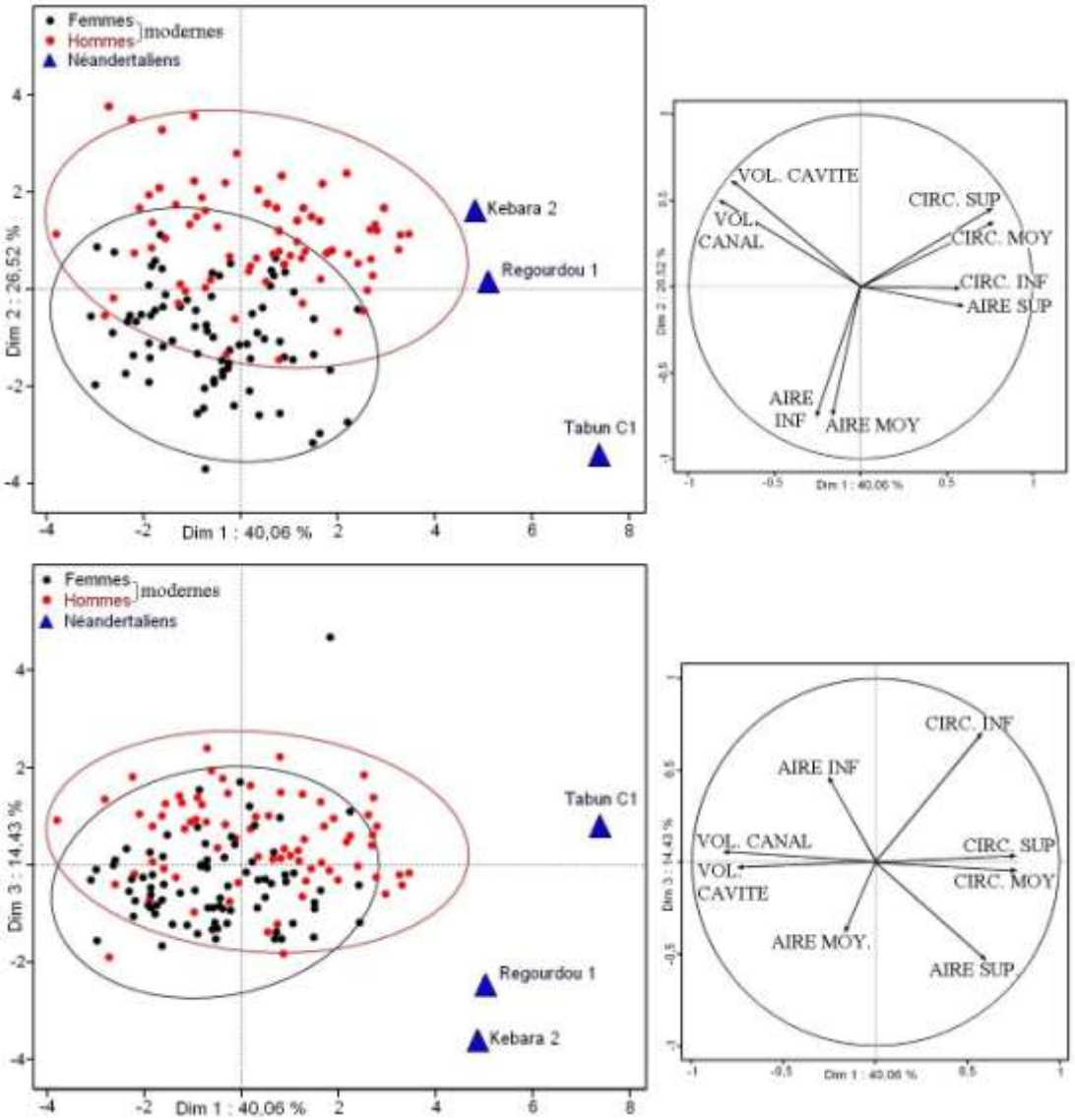


Figure 78. Analyse en composantes principales des dimensions obstétricales. Volumes, aires et périmètre.

L'analyse est effectuée à partir d'un échantillon de 154 individus, dont 3 néandertaliens, sur 14 mesures. Vol : volume ; inf : détroit inférieur ; moy : détroit moyen ; sup : détroit supérieur ; circ : circonférence ou périmètre.

Le canal pelvien néandertalien est différent du canal pelvien moderne dans sa partie inférieure. Notre dernière analyse a en effet confirmé les conclusions de l'analyse de la distance probabiliste en mettant en évidence que, contrairement aux détroits supérieurs et moyens, le détroit inférieur néandertalien présente des dimensions qui l'éloignent de la

variabilité moderne. La relation entre la partie inférieure et la partie supérieure du canal obstétrical néandertalien est différente, avec une partie inférieure plus petite.

IV.3.1.4. Apport de la morphométrie géométrique

Les analyses précédentes ont montré l'influence de la taille de Regourdou 1 dans les résultats. L'utilisation des outils de la morphométrie géométrique peut résoudre ce problème, car cela permet de mieux discuter les différences de conformation (voir p. 152).

a. Superposition Procruste

Tous les individus sont répartis dans l'espace Procuste et les différents points de repère sont nettement distinguables (Figure 79 et Figure 80).

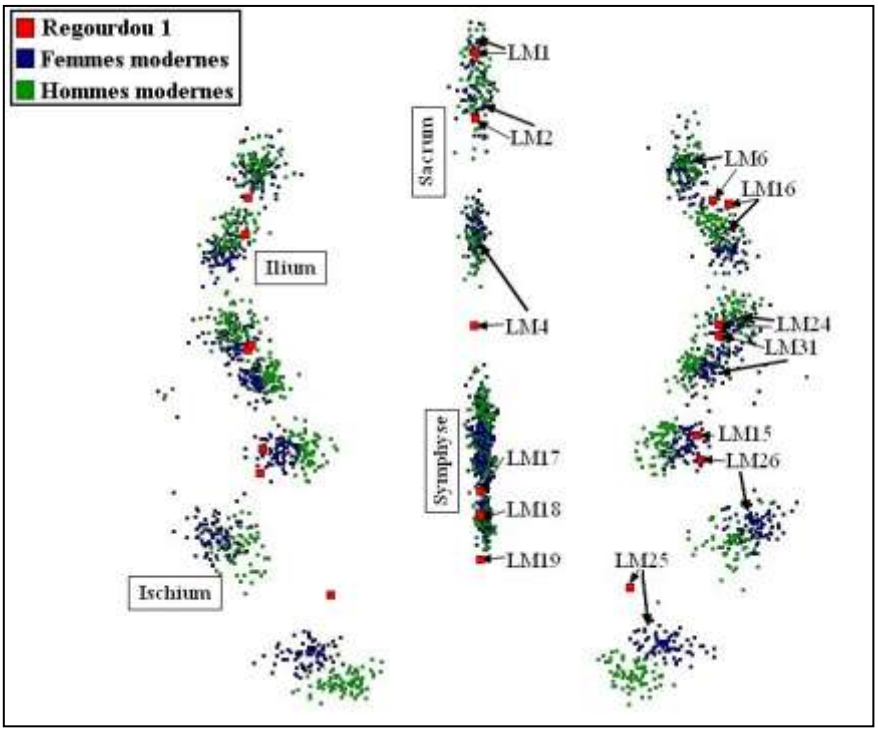


Figure 79. Localisation des points de repère par superposition Procuste (vue antérieure).
Points de repère pris sur un échantillon moderne (n = 151) et Regourdou 1.

On voit que pour certains de ces points [LM16 (sur la ligne arquée), LM25 ou LM26 (sur la tubérosité ischiatique) par exemple], l'individu Regourdou 1 s'éloigne des individus

modernes. Une des différences les plus flagrantes se situe au niveau du sacrum (LM1-2-4), avec une nette différence entre la conformation moderne et celle de Regourdou 1 (Figure 79). De la même façon, la position de l'ischium (LM25-26) de Regourdou 1 est bien distincte de la position moderne. En vue supérieure, on remarque une différence importante entre la morphologie pubienne de Regourdou 1 et celle anatomiquement moderne, avec une projection antérieure de la symphyse pubienne chez Regourdou 1 (Figure 80).

Les coordonnées Procuste de ces points vont être analysées via une analyse en composantes principales des résidus Procuste.

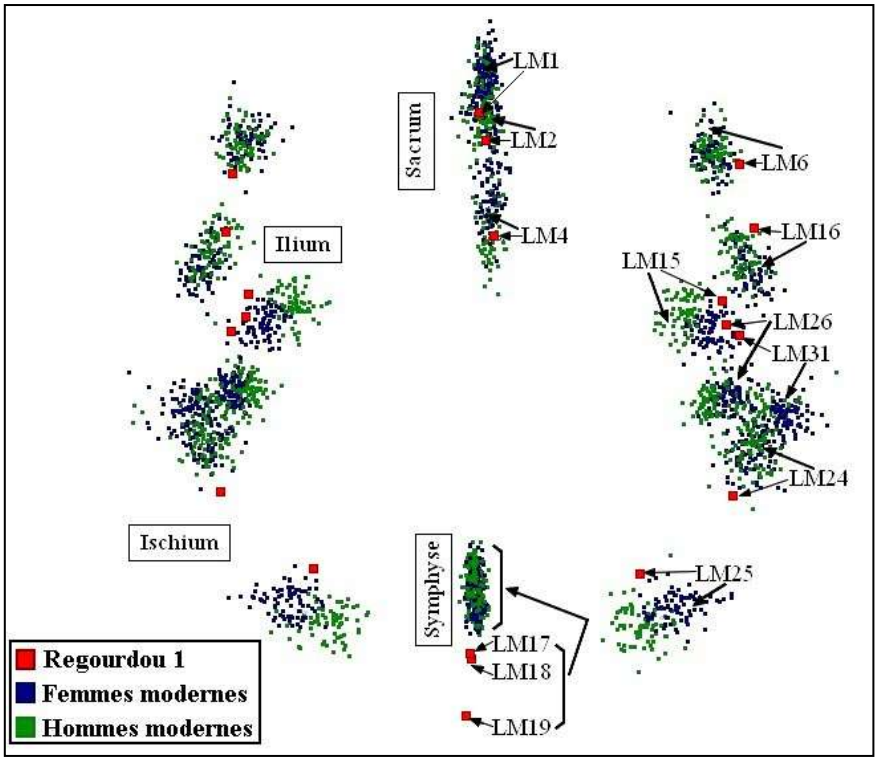


Figure 80. Localisation des points de repère par superposition Procuste (vue supérieure).
Points de repère pris sur un échantillon moderne (n = 151) et Regourdou 1.

b. Analyse en composantes principales des résidus de la superposition Procuste.

L'analyse en composantes principales des résidus de la superposition Procuste apporte de nouvelles informations sur les différences entre individus néandertaliens et individus modernes (Figure 81 et Figure 82)

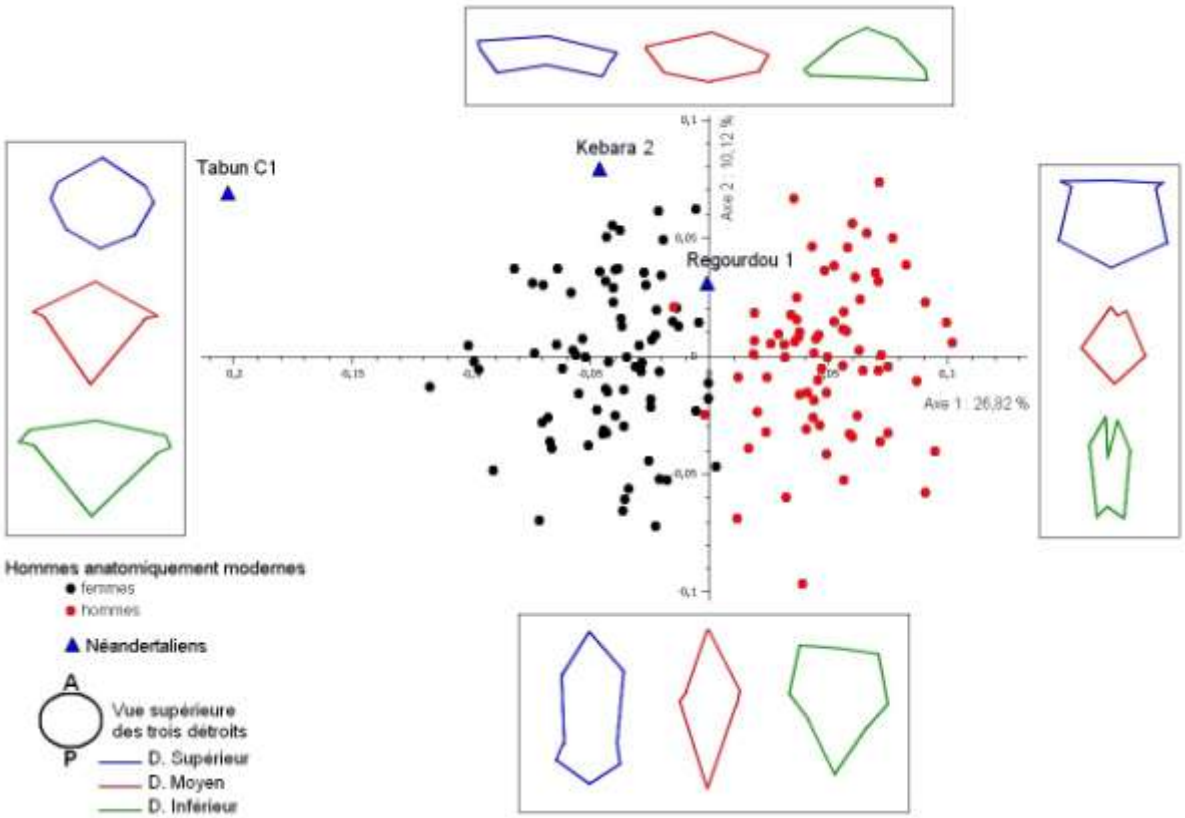


Figure 81. Analyse en composantes principales des résidus de l'analyse Procuste : axes 1 et 2.
Les schémas en bout d'axe représentent la morphologie des détroits obstétricaux (en vue supérieure) d'un individu situé sur l'extrémité de l'axe considéré.

Regourdou 1 s'éloigne nettement de la population moderne selon l'axe 3, qui traduit surtout un raccourcissement transversal du détroit supérieur, une position plus antérieure de la symphyse et de l'apex du sacrum ainsi qu'un détroit inférieur étroit transversalement (Figure 82). En revanche, Regourdou 1 est au milieu de la variabilité moderne suivant l'axe 1, qui traduit surtout une déformation transversale et une discrimination selon le sexe, et suivant l'axe 2 qui traduit plus une déformation de type allongement/raccourcissement des détroits (Figure 81). On peut donc considérer que la morphologie générale du détroit supérieur de Regourdou 1, malgré un léger rétrécissement transverse, ne le distingue pas de la morphologie moderne moyenne. Sa position hors-variabilité moderne suivant l'axe 3 est due à la position très antérieure de la symphyse, que nous pouvons mettre en relation avec un pubis plus long. Par ailleurs, les détroits moyen et inférieur de cet individu sont rétrécis antéropostérieurement par rapport à la moyenne moderne, ce qui confirme nos résultats précédents (Figure 81). Finalement, notre analyse montre un canal pelvien de Regourdou 1 légèrement plus étroit

transversalement que le canal moderne au niveau du détroit supérieur (mais sans s'éloigner de la variabilité) et raccourci antéropostérieurement au niveau des détroits moyens et inférieurs, avec une symphyse projetée vers l'avant et un apex du sacrum très antérieur.

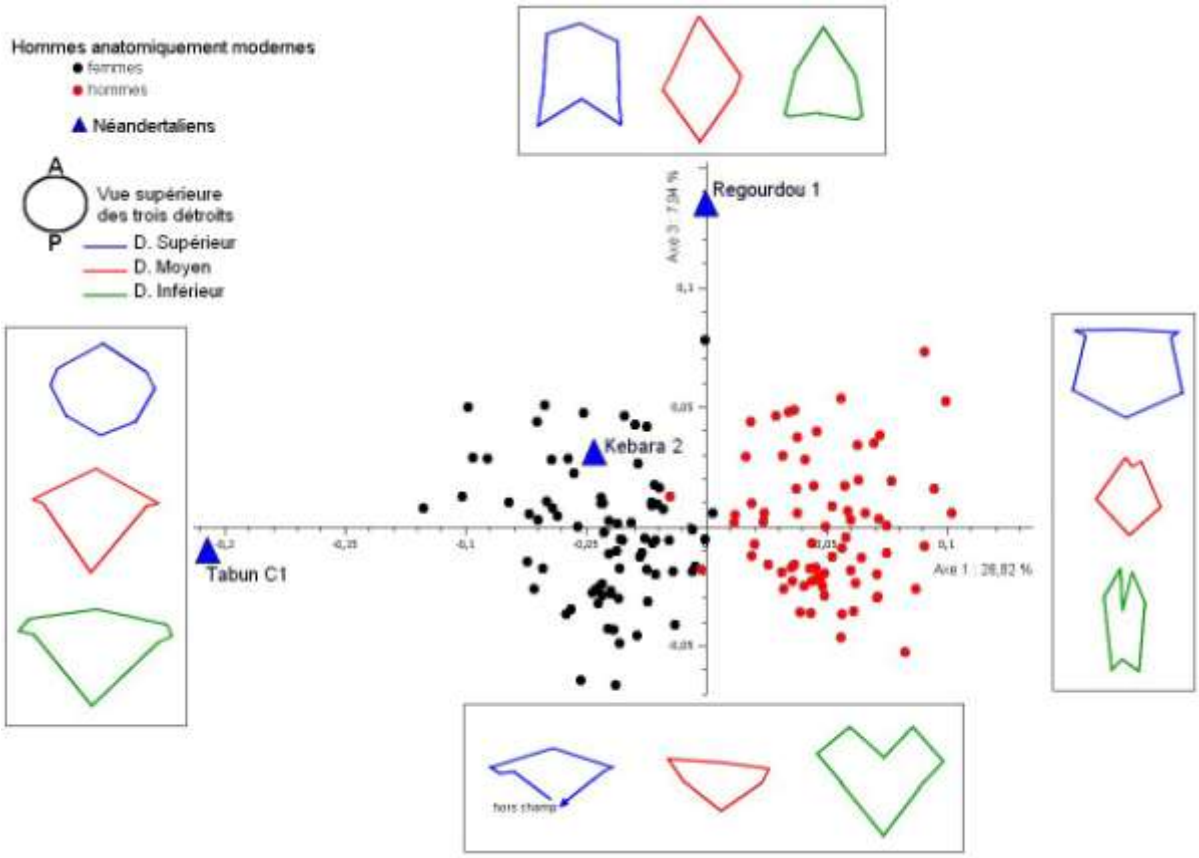


Figure 82. Analyse en composantes principales des résidus de l'analyse Procuste : axes 1 et 3.
Les schémas en bout d'axe représentent la morphologie des détroits obstétricaux (en vue supérieure) d'un individu situé sur l'extrémité de l'axe considéré.

Les deux autres individus néandertaliens présentent des caractères très différents. La morphologie des détroits moyens et inférieurs de Tabun C1 (avec de grands diamètres transverses et de faibles diamètres antéropostérieurs) le distingue de la population moderne suivant l'axe 1 (Figure 81). Nous pouvons considérer cet individu comme hyperféminin, pour ces deux détroits. Il faut envisager ici l'influence de la reconstruction de ce spécimen utilisée dans cette étude : nos résultats confirment l'importance de discuter de l'utilisation de Tabun C1 en paléo-obstétrique (voir p. 286). Kebara 2 est en revanche intégré à la variabilité moderne pour tous les axes considérés, même si il s'en éloigne légèrement suivant l'axe 2, ce

qui traduit un raccourcissement antéropostérieur des détroits supérieurs et moyens (Figure 81).

Il est difficile à partir de cette analyse de proposer une morphologie néandertalienne globale. La morphologie hyperféminine de Tabun C1 n'est en effet pas comparable à celle de Kebara 2 ou celle de Regourdou 1. Nous pouvons toutefois observer que les trois spécimens sont regroupés dans la partie positive de l'axe 2 et dans la partie négative de l'axe 1. Ils se rapprochent par là de l'échantillon féminin de notre population. Cette analyse nous permet aussi de mettre en évidence que le canal pelvien néandertalien se distingue du canal moderne par un raccourcissement antéropostérieur des détroits moyens et inférieurs.

L'analyse en composantes principales des résidus de la superposition Procuste a permis de confirmer l'importance de la taille dans notre comparaison du canal obstétrical moderne et du canal obstétrical néandertalien. Nous avons aussi pu mettre en évidence que Regourdou 1 présente une morphologie très proche de la morphologie moderne, mise à part une symphyse et un apex du sacrum plus antérieurs. Cette différence a peu d'influence sur les dimensions des trois détroits obstétricaux. Nous avons pu confirmer qu'un aplatissement antéropostérieur du canal au niveau des détroits moyens et inférieurs est commun aux trois spécimens néandertaliens. Chez l'individu Tabun C1, ce caractère est très marqué et a pour conséquence un canal platypelloïde.

Après l'analyse de nos résultats, il apparait que le canal pelvien de Regourdou 1 présente une petite taille globale par rapport à la variabilité moderne ; un détroit supérieur légèrement resserré transversalement, sans que cela s'écarte de la variabilité moderne et un détroit inférieur petit par rapport aux détroits supérieurs et moyens ; une avancée de l'apex du sacrum et de la symphyse pubienne ; un faible volume pelvien.

Nous avons aussi pu mettre en avant certains traits communs aux trois spécimens néandertaliens de cette étude : un faible volume pelvien, un petit détroit inférieur par rapport aux détroits supérieurs et moyens et de faibles dimensions antéropostérieures de la partie inférieure du canal pelvien.

Nous avons voulu compléter cette analyse des résidus par une vision plus synthétique de la morphologie du canal pelvien. En effet, pour étudier l'impact des différences mises en évidence ci-dessus sur les mécaniques obstétricales néandertaliennes nous devons procéder en deux étapes. Il faut d'abord vérifier que la morphologie globale du canal pelvien néandertalien est compatible avec une naissance de type moderne. Ensuite, pour préciser les mécaniques obstétricales, il faut discuter de la confrontation céphalo-pelvienne néandertalienne, pour comprendre comment le fœtus néandertalien aborde les différents détroits maternels.

IV.3.2. Morphologie du canal pelvien néandertalien : implications obstétricales

Pour les obstétriciens et les paléoanthropologues, trois caractéristiques du bassin moderne doivent être mises en relation avec la naissance rotationnelle (Figure 83 et p. 32) :

1- la différence d'orientation entre l'axe de la poussée utérine et l'axe du détroit supérieur. La poussée utérine propulse le fœtus contre la margelle pubienne, ce qui induit la rotation fœtale.

2- l'inversion du rapport « dimensions antéropostérieures/dimensions transverses » entre le détroit supérieur et le détroit moyen. Le fœtus, pour aligner toujours le grand axe de sa tête avec le grand axe du bassin maternel, effectue un mouvement de rotation dans la cavité.

3- l'angulation marquée entre l'orientation de chacun des trois détroits. Cette angulation, dite morphologie en segment de tore (voir p. 32), impose en effet au fœtus des mouvements de flexion et d'extension pour s'extraire du bassin.

Pour conclure à la présence d'une naissance de type moderne, nous devons mettre en évidence la présence, chez Regourdou 1 et chez les autres spécimens néandertaliens, de ces trois caractéristiques.

Pour cela, nous avons comparé, détroit par détroit, la morphologie de Regourdou 1 au consensus moderne (calculé à partir des résultats de l'analyse Procuste), puis la morphologie des trois individus néandertaliens entre eux, et enfin la morphologie d'un individu consensus néandertalien (calculé par analyse Procuste généralisée) à l'individu consensus moderne.

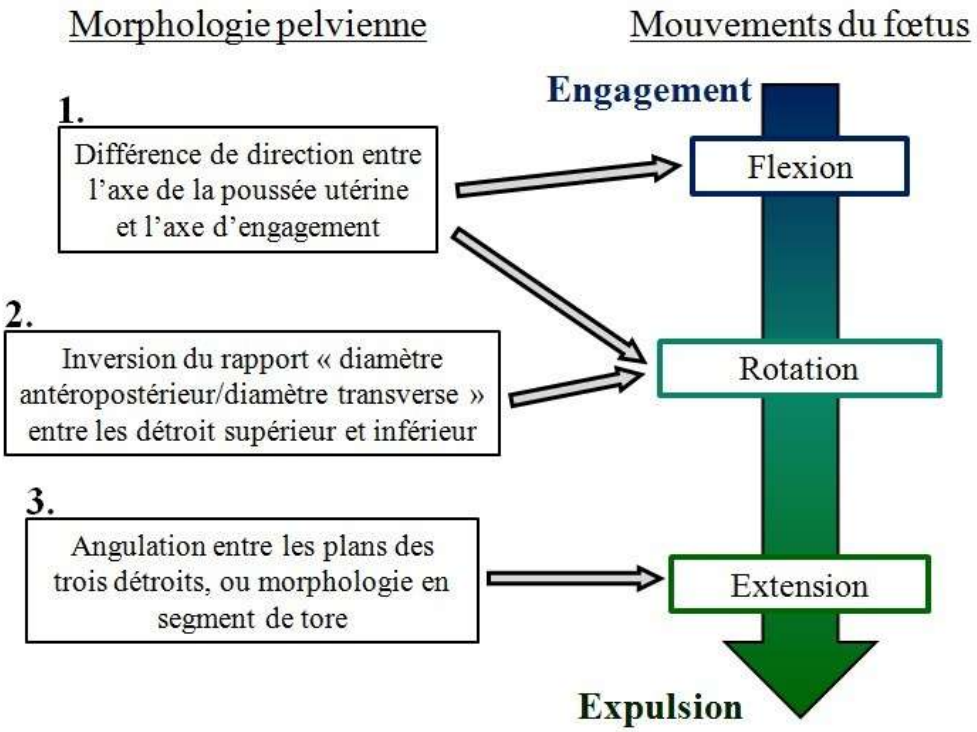


Figure 83. Mise en parallèle des caractéristiques du canal pelvien moderne et des mécaniques obstétricales qui en résultent.

IV.3.2.1. Comparaison des détroits obstétricaux de Regourdou 1 avec la population moderne

Grâce à la morphométrie géométrique, nous pouvons comparer la morphologie des trois détroits obstétricaux de Regourdou 1 et d'un individu moyen (consensus) moderne, féminin et masculin. Tous les individus ont été alignés par rapport à un même repère, grâce à une analyse Procruste ordinaire.

a. Détroit supérieur (Figure 84)

La différence entre Regourdou 1 et les deux consensus modernes se fait au niveau des limites latérales du détroit (LM16 et LM24) et de la symphyse (LM17). Le détroit supérieur de Regourdou 1 est plus allongé antéropostérieurement et plus étroit transversalement, tandis que le détroit supérieur moderne « s'évase » antérieurement. La position du point LM17, très en avant, peut être mise en relation avec un pubis plus long, caractéristique des bassins néandertaliens (Trinkaus 1976). En revanche, la partie postérieure du détroit supérieur, qui correspond au promontoire et à la première vertèbre sacrée, est semblable à la morphologie moderne.

La Figure 84 montre aussi très nettement la position décalée du point LM16 et plus particulièrement de LM16D. Le détroit supérieur présente ici une nette asymétrie. Elle peut être imputée à l'asymétrie du sacrum de Regourdou 1 mais elle met aussi en évidence la nécessité de discuter de l'hypothèse d'une malposition lors de la reconstruction de l'articulation sacro-iliaque.

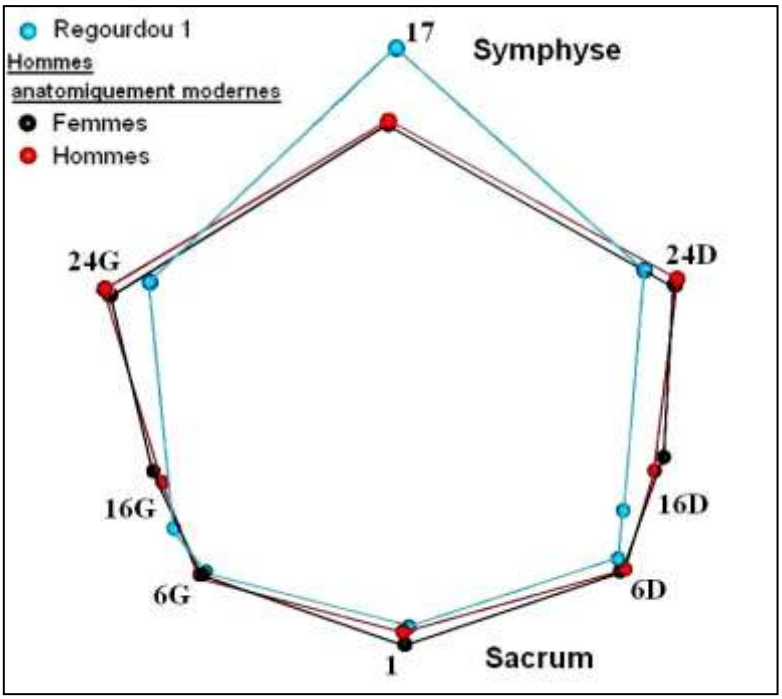


Figure 84. Comparaison de la morphologie du détroit supérieur de Regourdou 1, du consensus hommes et du consensus femmes. Vue supérieure.

Les consensus sont calculés par Analyse Procruste. Effectif moderne = 151 (78 femmes, 73 hommes)

b. Détroit moyen (Figure 85)

Le détroit moyen de Regourdou 1 présente de nombreuses différences avec le détroit moderne. La position très antérieure de la symphyse (LM18) s'observe à nouveau, mais elle est plus proche de la morphologie du consensus moderne masculin. Contrairement au détroit supérieur, la position du sacrum de Regourdou 1 est très différente de la position moderne : il est très antérieur. Ce décalage conjoint au niveau du sacrum et de la symphyse induit une dimension antéropostérieure du détroit équivalente chez Regourdou 1 et les individus modernes, contrairement à ce qu'aurait pu faire croire la morphologie particulière du pubis. De la même façon, les dimensions transverses du détroit moyen de Regourdou 1 ne s'éloignent pas des dimensions modernes, mais on observe une morphologie légèrement différente : des épines sciatiques (LM15) plus latérales et un centre de l'acétabulum (LM31) plus postérieur. Nos premiers résultats concluaient à une différence importante au niveau du diamètre bi-cotyloïde (LM31D-LM31G) entre Regourdou 1 et l'échantillon moderne, l'utilisation de la superposition Procuste nous montre que c'est un effet de taille.

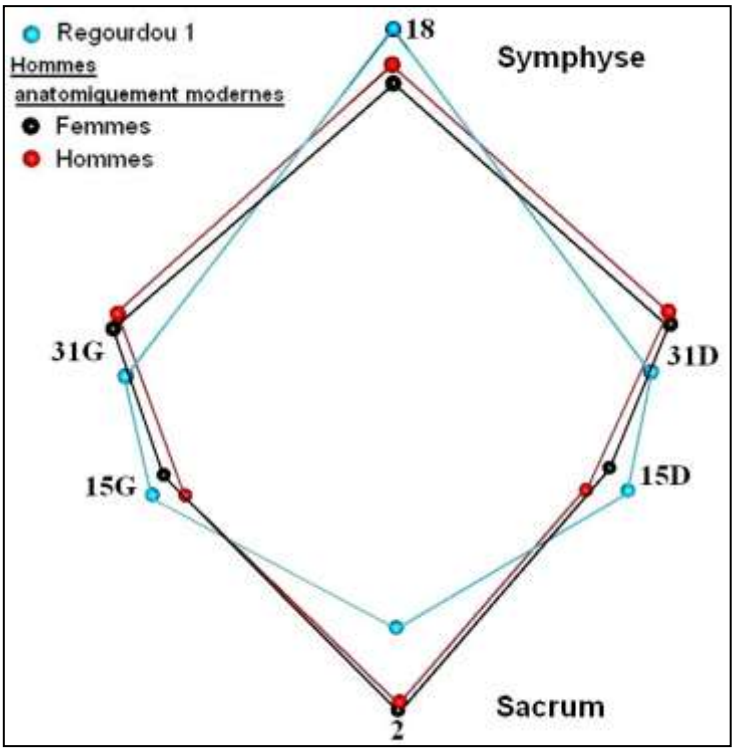


Figure 85. Comparaison de la morphologie du détroit moyen de Regourdou 1, du consensus hommes et du consensus femmes. Vue supérieure.

Les consensus sont calculés par analyse Procruste. Effectif moderne = 151 (78 femmes, 73 hommes)

c. Détroit inférieur (Figure 86)

Comme nous avions déjà pu le noter, le détroit inférieur est la région anatomique qui présente le plus de différences entre Regourdou 1 et les individus modernes. Dans le cas de ce détroit, on peut assimiler le bassin moderne à un losange tandis que le bassin de notre spécimen néandertalien est plus triangulaire. Ceci est notamment du à la position très antérieure du point LM4, au niveau du sacrum, et au rapprochement important entre l'épine sciatique (LM15) et la partie postérieure de la tubérosité (LM26). Comme chez les individus modernes, la plus grande dimension transverse du détroit se situe au niveau du diamètre bi-ischiatique postérieur (LM26D-LM26G), mais ce diamètre est situé plus postérieurement chez Regourdou 1. Les dimensions transverses de la partie antérieure du détroit sont donc très faibles. Dans le cas du détroit inférieur et contrairement au détroit moyen, la projection de la symphyse est moins importante ; la projection antérieure du point du sacrum (ici l'apex, soit LM4) n'est pas entièrement « compensée » par un décalage équivalent au niveau de la symphyse, le diamètre sous-sacro-sous-pubien est donc raccourci par rapport à son équivalent chez les individus modernes.

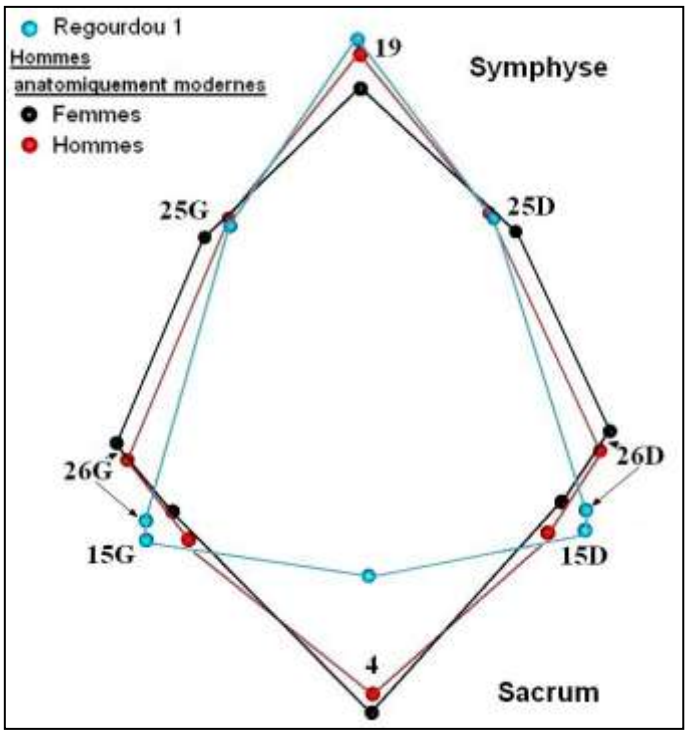


Figure 86. Comparaison de la morphologie du détroit inférieur de Regourdou 1, du consensus hommes et du consensus femmes. Vue supérieure.

Les consensus sont calculés par Analyse Procruste. Effectif moderne = 151 (78 femmes, 73 hommes)

En comparant les détroits obstétricaux de Regourdou 1 et de la population anatomiquement moderne, nous avons pu mettre en évidence d'importantes différences morphologiques. Le détroit supérieur de Regourdou 1 est plus allongé antéropostérieurement. Le détroit moyen est caractérisé par un décalage antérieur du sacrum et de la symphyse, associé à un diamètre bi-cotyloïde plus postérieur. Le détroit inférieur présente le plus de différence, avec notamment un rétrécissement global important, et une partie antérieure très peu spacieuse. Par ailleurs, même si l'analyse en composantes principales des résidus montrait une nette distinction entre les hommes et les femmes modernes, nous pouvons voir que les différences morphologiques entre Regourdou 1 et la population moderne sont plus marquées que les différences entre les deux individus consensus modernes.

Notre analyse a montré que le canal pelvien de Regourdou 1 se distingue de la morphologie moderne principalement par un détroit supérieur allongé, un détroit moyen de conformation différente mais de taille équivalente et un détroit inférieur de plus faibles dimensions. Pour vérifier la présence d'une inversion des rapports antéropostérieur/transverse ou d'une angulation entre les trois détroits (caractéristiques du canal pelvien moderne associées à la naissance rotationnelle) chez Regourdou 1, nous avons superposé ceux-ci en vue supérieure (Figure 87) et latérale (Figure 88).

Chez Regourdou 1, il n'y a pas d'inversion du rapport « antéropostérieur/ transverse » à proprement parler : l'indice est supérieur à 1 pour les trois détroits. La morphologie particulière du détroit supérieur de Regourdou, très allongé et avec un grand axe antéropostérieur explique cette particularité. Néanmoins, nous notons chez cet individu une tendance comparable à ce que l'on observe chez le consensus moderne. En effet, si on compare le détroit supérieur et le détroit inférieur, on note que le détroit supérieur est plus vaste et plus large que le détroit inférieur. Sur la Figure 87, on passe d'un rapport de 1.2 à un rapport de 1.8, ce qui traduit bien un changement de morphologie entre le détroit supérieur et le détroit inférieur.

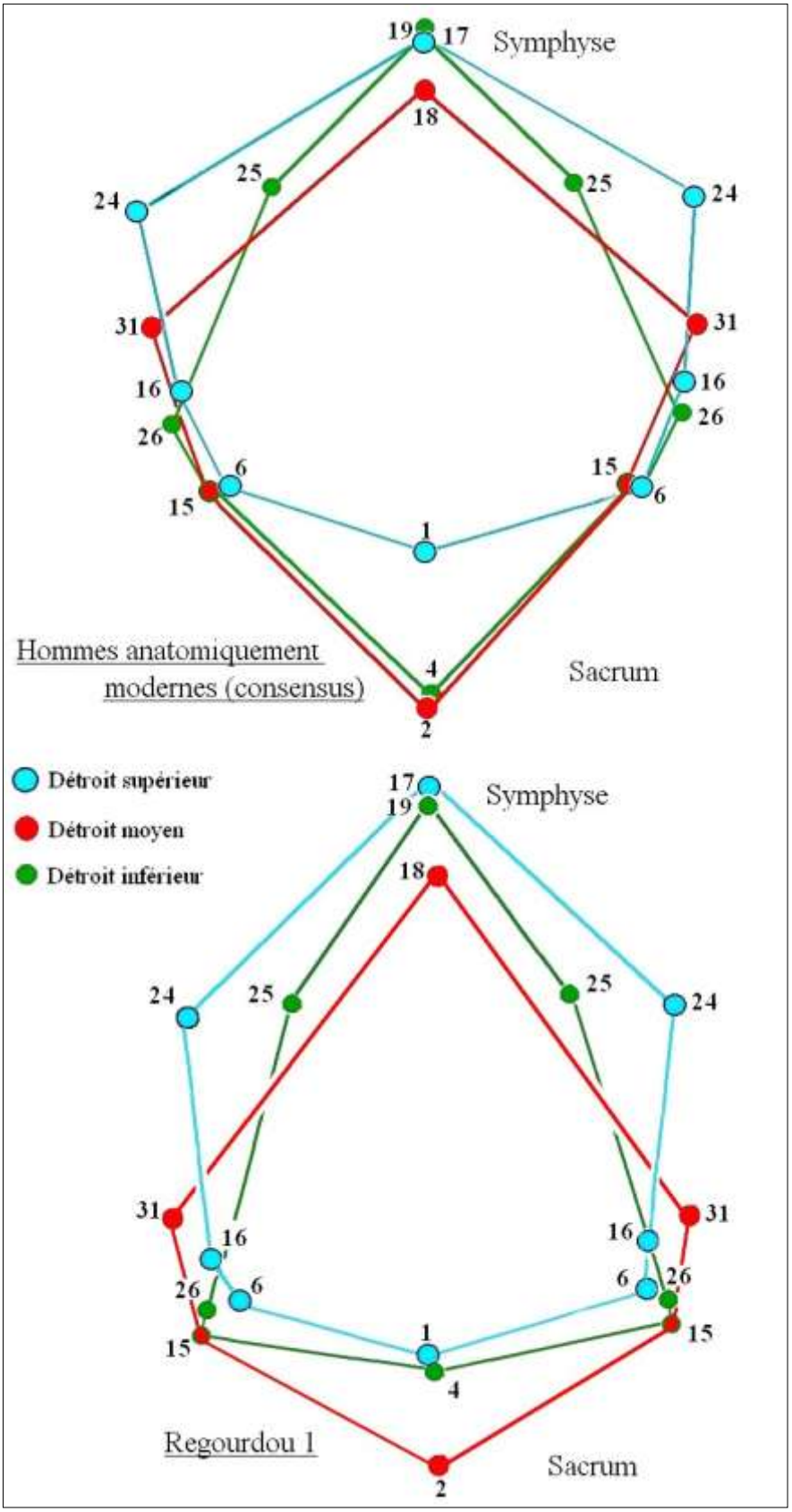


Figure 87. Morphologie comparée du canal pelvien de Regourdou 1 et du consensus « Hommes anatomiquement modernes » : visualisation des trois détroits en vue supérieure.

Les consensus sont calculés par Analyse Procruste. Effectif moderne = 151 (78 femmes, 73 hommes)

L'angulation du canal pelvien moderne est bien observable chez Regourdou 1 (Figure 88). Malgré l'avancée de l'apex du sacrum, Regourdou 1 présente une morphologie en segment de tore, comparable à la morphologie moderne. L'angle entre l'axe du détroit supérieur et celui du détroit inférieur est d'environ 130°, légèrement inférieur à ce que l'on observe chez les Hommes anatomiquement modernes de notre population de référence (135-140°). Le détroit inférieur est légèrement plus incliné par rapport à l'horizontale (25° au lieu de 20°), ce qui explique cette angulation moins marquée.

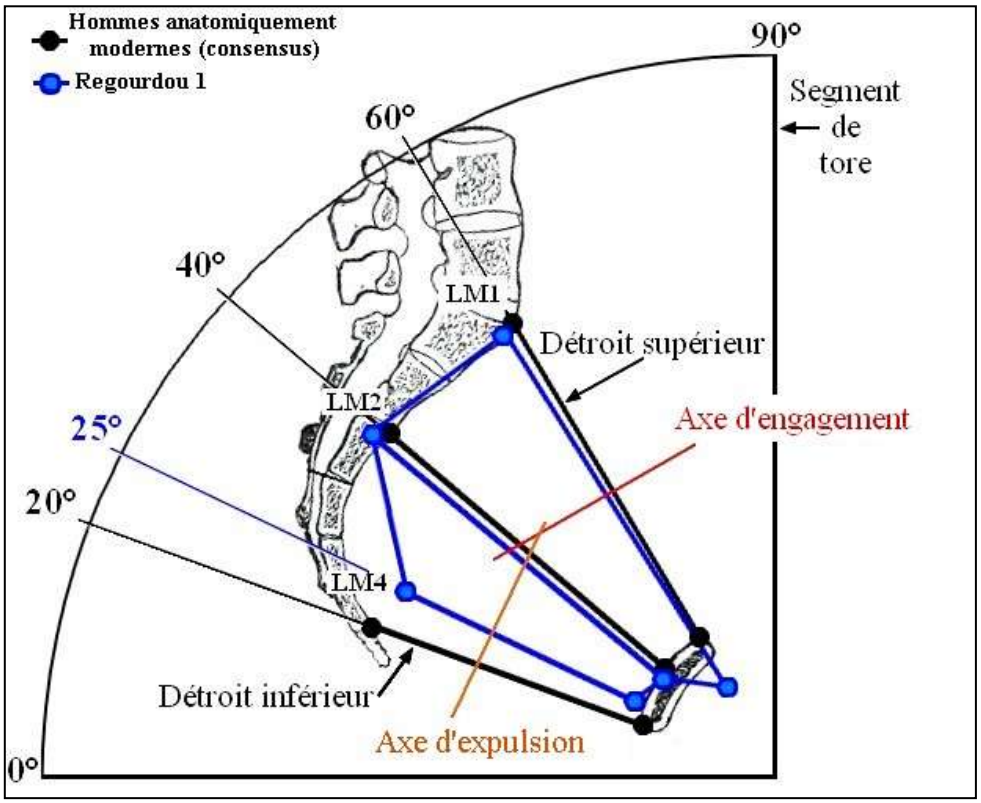


Figure 88. Morphologie comparée du canal pelvien de Regourdou 1 et du consensus « Hommes anatomiquement modernes » : visualisation des trois détroits en vue latérale.

Finalement, nous avons pu montrer que les deux grandes caractéristiques du canal pelvien, à mettre en relation avec les mécaniques obstétricales sont observables chez Regourdou 1. L'angulation entre les détroits est comparable à la morphologie moderne, l'inversion est bien moins marquée, mais nous observons une « tendance ».

IV.3.2.2. Comparaison des détroits obstétricaux de Regourdou 1, Kebara 2 et Tabun C1.

La comparaison des trois détroits obstétricaux de Regourdou 1, Tabun C1 et Kebara 2 met en évidence une grande variabilité morphologique chez ces trois spécimens, notamment pour les détroits supérieur et inférieur (Figure 89).

Les trois individus présentent une morphologie semblable pour la partie postérieure du détroit supérieur, au niveau de l'avancée du promontoire, de la première vertèbre sacrée et de l'articulation sacro-iliaque. Il n'en va pas de même pour la morphologie latérale et antérieure du détroit. Nous avons déjà vu que le détroit supérieur de Regourdou 1 est très allongé antéropostérieurement. Ce caractère n'est pas observable chez Tabun C1 et Kebara 2, plus proches de la morphologie moderne. La position du diamètre transverse maximum est beaucoup plus antérieure chez Tabun C1 et Kebara 2, qui présentent tous deux un détroit plus large que celui de Regourdou 1.

Le détroit moyen de ces trois individus présente la même particularité d'être très court antéropostérieurement. Cette morphologie s'explique par la position du sacrum, très antérieur chez Tabun C1 et Kebara 2.

Au niveau du détroit inférieur, nous observons une nette différence de morphologie entre Tabun C1 d'une part et Kebara 2 et Regourdou 1 d'autre part. Le premier présente un détroit court antéropostérieurement et très large transversalement, correspondant à une morphologie platypelloïde. Les détroits inférieurs de Kebara 2 et Regourdou 1 sont plus allongés et plus étroits. Par ailleurs, Kebara 2 présente une morphologie très particulière au niveau de l'apex du sacrum (LM4) : celui-ci est situé en position extrêmement antérieure et s'avance fortement dans la cavité. Nous avons déjà évoqué la position du sacrum de Kebara 2, peut-être due à une pathologie et à une déformation post-mortem (Duday et Arensburg 1991).

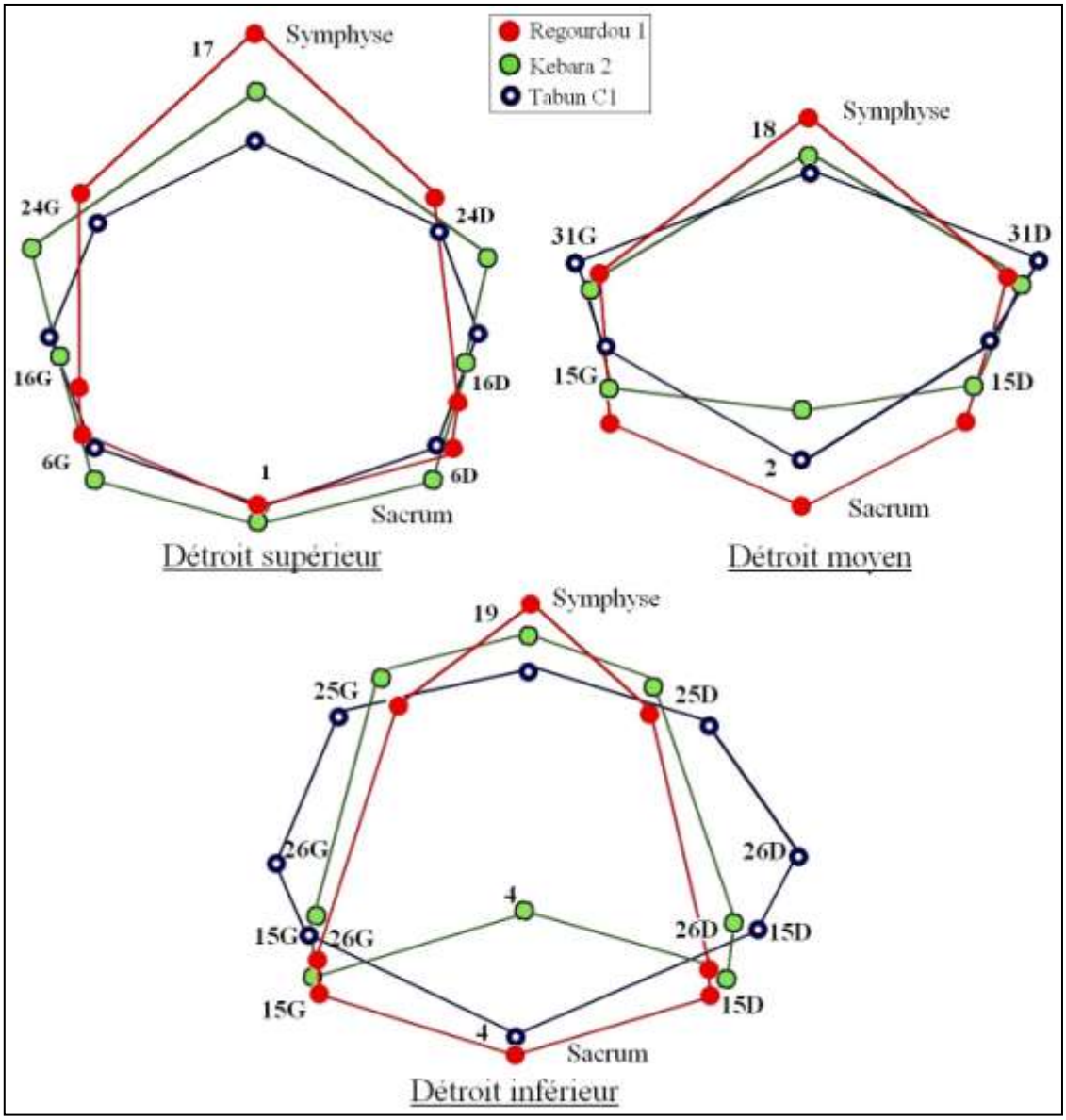


Figure 89. Comparaison de la morphologie du canal pelvien de Regourdou 1, Kebara 2 et Tabun C1. Vue supérieure.

Cette position très antérieure du sacrum de Kebara est bien visible quand on considère la morphologie du canal en vue latérale (Figure 90). Cette analyse met aussi en évidence que la longueur du détroit supérieur de Regourdou 1 est due à une position plus antérieure de la symphyse pubienne que chez les deux autres individus. Lors de la comparaison de la morphologie de Regourdou 1 avec la morphologie moderne, nous avons émis l'hypothèse que cette projection vers l'avant soit due au pubis long caractéristique des Néandertaliens. Cette hypothèse est contredite par nos nouveaux résultats, car cette projection n'est pas commune aux autres spécimens néandertaliens ; c'est donc une morphologie propre à Regourdou 1.

Par ailleurs, nous pouvons noter que les différences entre ces trois individus se font aussi dans l'orientation de chacun des détroits (Figure 90). Si Kebara 2 et Tabun C1 sont comparables, Regourdou 1 présente une légère inclinaison du détroit supérieur vers le haut par rapport aux deux autres spécimens, de même qu'une distance promontoire – suture S4-S5 plus importante. Malgré cette différence, on retrouve chez les trois individus néandertaliens une morphologie en segment de tore, avec une forte angulation entre les trois détroits, de l'ordre de 130 - 140°, soit dans la variabilité moderne.

Aucun des trois individus ne présente de réelle inversion des rapports entre les trois détroits. On observe toutefois chez Kebara 2, comme précédemment chez Regourdou 1, une tendance à l'inversion. Chez Tabun C1, le rapport « antéropostérieur/transverse » est très inférieur à 1 pour l'ensemble du canal, témoignant de son importante platypelloïdie.

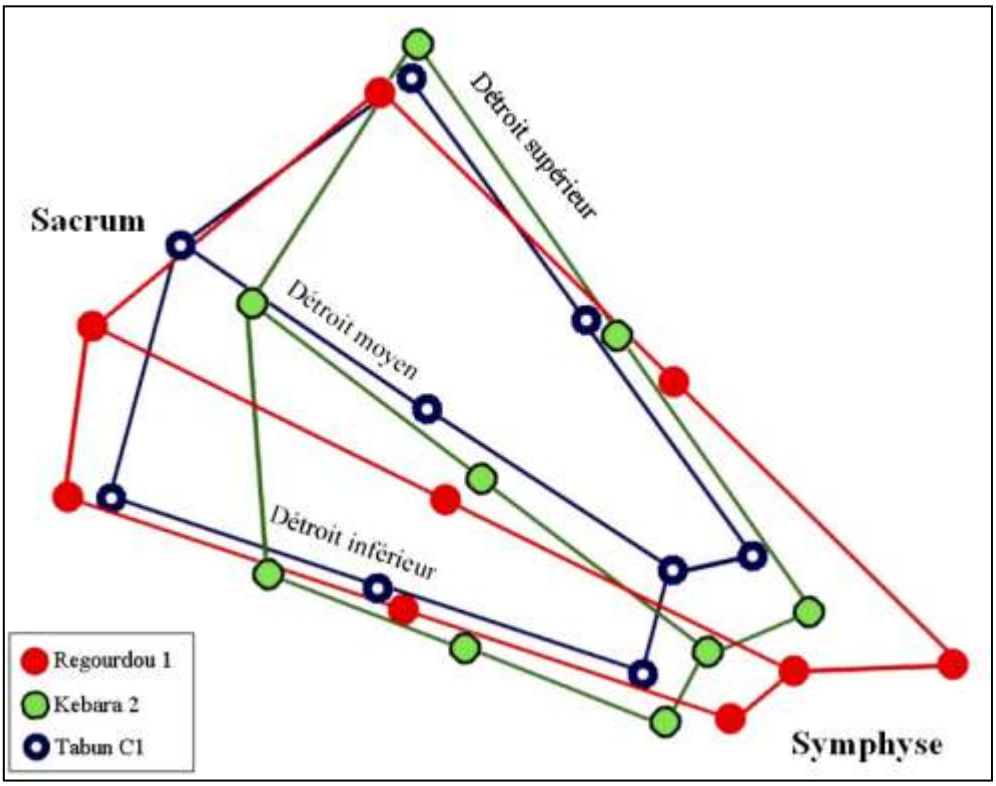


Figure 90. Comparaison de la morphologie du canal pelvien de Regourdou 1, Kebara 2 et Tabun C1. Vue latérale droite.

Cette comparaison met donc en évidence trois morphologies très différentes :

- Regourdou 1 a un détroit supérieur long et étroit, un détroit moyen plus raccourci, équivalent à celui des deux autres individus néandertaliens et un détroit inférieur relativement

long, comparable à celui de Kebara 2. Son canal pelvien présente une symphyse plus antérieure et une distance entre le détroit moyen et le détroit inférieur plus faible que chez les deux autres spécimens.

- Tabun C1 présente un canal pelvien dont les dimensions transverses sont toutes plus importantes que les dimensions antéropostérieures. Le canal pelvien de Tabun C1 ne présente pas d'inversion du rapport « antéropostérieur/transverse » observé chez Regourdou 1.

- Kebara 2 est caractérisé par une forte avancée du sacrum, qui raccourcit les dimensions antéropostérieures du canal pelvien. Sauf pour la partie antérieure du détroit supérieur, ses dimensions transverses sont comparables à celles de Regourdou 1.

Les trois individus présentent une angulation importante entre leurs trois détroits obstétricaux mais pas de réelle inversion.

IV.3.2.3. Comparaison des détroits obstétricaux du consensus néandertalien et du consensus anatomiquement moderne

À partir de cette comparaison, il est difficile de proposer une morphologie néandertalienne globale. Nous pouvons noter toutefois qu'un petit détroit moyen (associé à une petite cavité pelvienne) et un raccourcissement antéropostérieur de la partie inférieure du canal caractérisent ces trois individus. Pour poursuivre nos analyses obstétricales, nous avons construit un individu néandertalien consensus, que nous avons comparé à un individu anatomiquement moderne consensus.

La principale différence entre ces deux consensus est la relation de taille entre les trois détroits (Figure 91). Chez l'Homme anatomiquement moderne, ils sont plus ou moins de mêmes dimensions, tandis que chez Neandertal, les détroits moyens et inférieurs sont nettement plus petits que le détroit supérieur.

Il y a une grande similitude entre les détroits supérieurs des deux individus consensus, qui présentent la même conformation. Le sacrum néandertalien est légèrement plus postérieur par

rapport à l'ensemble du détroit chez l'Homme anatomiquement moderne, mais cela a peu d'incidence sur la morphologie générale.

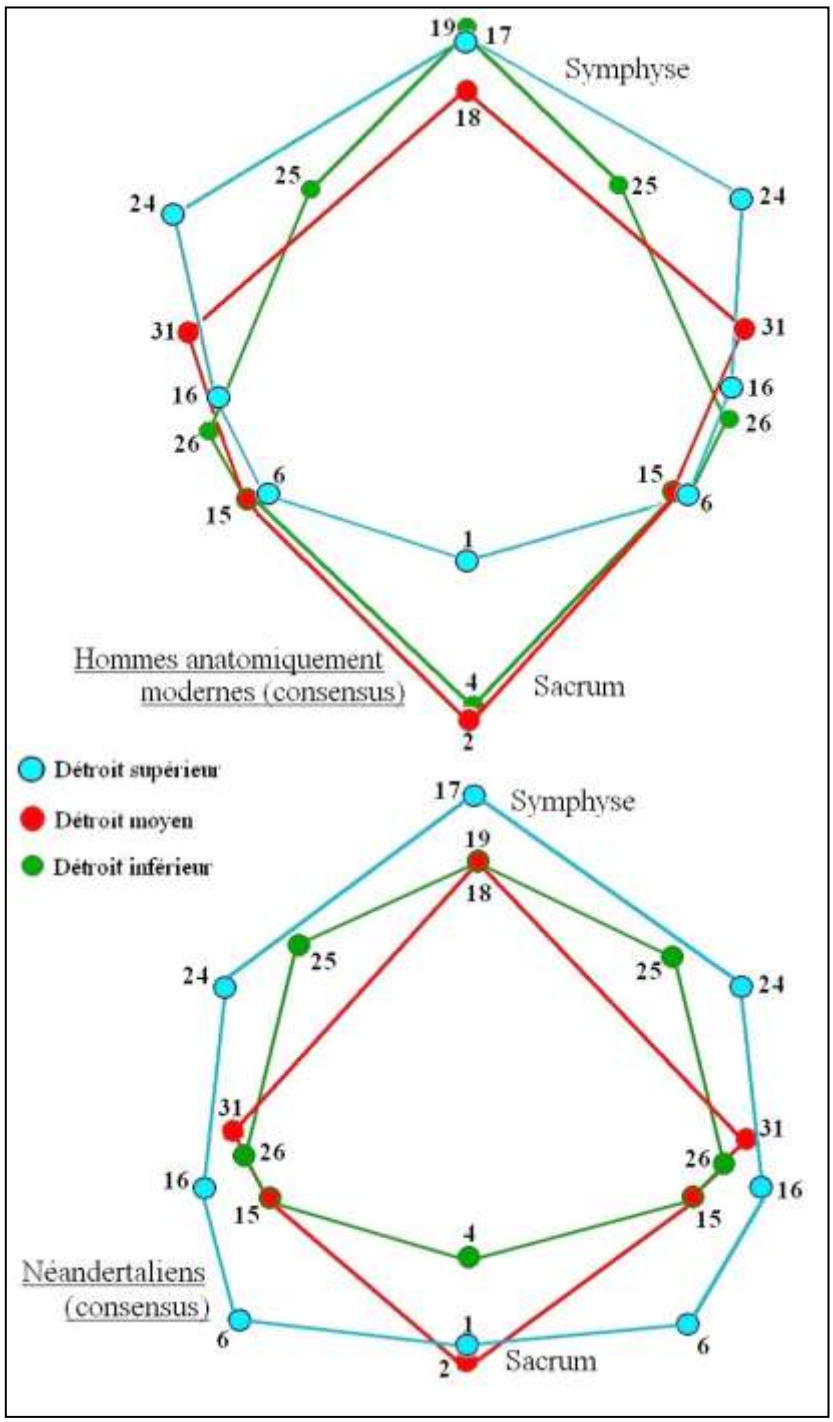


Figure 91. Morphologie comparée du canal pelvien du consensus néandertalien et du consensus moderne, vue supérieure.

Les consensus sont calculés par Analyse Procruste. Effectifs : moderne = 151, néandertalien = 3

Le détroit moyen est très différent, avec un détroit dont les dimensions transverses sont équivalentes à celles du détroit supérieur chez l'individu moderne et un détroit à la fois plus court et plus étroit chez l'individu néandertalien. Nous pouvons particulièrement noter une différence de position des épines sciatiques, plus latérales et plus postérieures chez l'individu moderne. Chez l'individu néandertalien, le détroit inférieur a une morphologie semblable au détroit supérieur, mais de dimensions moins importantes. L'avancée du sacrum dans la cavité pelvienne explique cette morphologie « tronquée » quand on la compare au détroit inférieur moderne. Celui-ci, à l'inverse, est long et étroit.

L'inversion du rapport « diamètre antéropostérieur/diamètre transverse » entre le détroit supérieur et le détroit moyen n'est pas visible chez l'individu consensus néandertalien. Nous pouvons uniquement à nouveau parler d'une tendance, ce rapport augmentant entre le détroit supérieur (0,93) et le détroit inférieur (0,98). Cette observation a son importance quand on sait que cette inversion est en partie responsable de la rotation du fœtus. En revanche, l'individu consensus néandertalien présente une morphologie en segment de tore. Il y une angulation marquée entre les trois détroits, avec un changement d'orientation d'environ 135°, soit du même ordre que l'angulation moderne (Figure 92).

Cette comparaison de la morphologie globale des détroits obstétricaux a montré que tous les spécimens néandertaliens présentent une angulation du canal pelvien (soit une morphologie en segment de tore) comparable à celle du canal pelvien moderne ; en revanche, tous ne présentent pas une inversion du rapport antéropostérieur/transverse entre les trois détroits.

Malgré la difficulté de proposer une description globale du canal pelvien néandertalien (en raison d'une importante variabilité entre ces trois individus), nous avons construit un individu consensus néandertalien. Ce dernier présente d'importantes différences avec la morphologie moderne au niveau des détroits moyens et inférieurs, plus larges et plus courts que le canal pelvien moderne. Le bassin néandertalien, comme le bassin moderne a une morphologie en segment de tore. Nous n'avons pas observé d'inversion du rapport « antéropostérieur/transverse » chez cet individu, uniquement une augmentation de celui-ci.

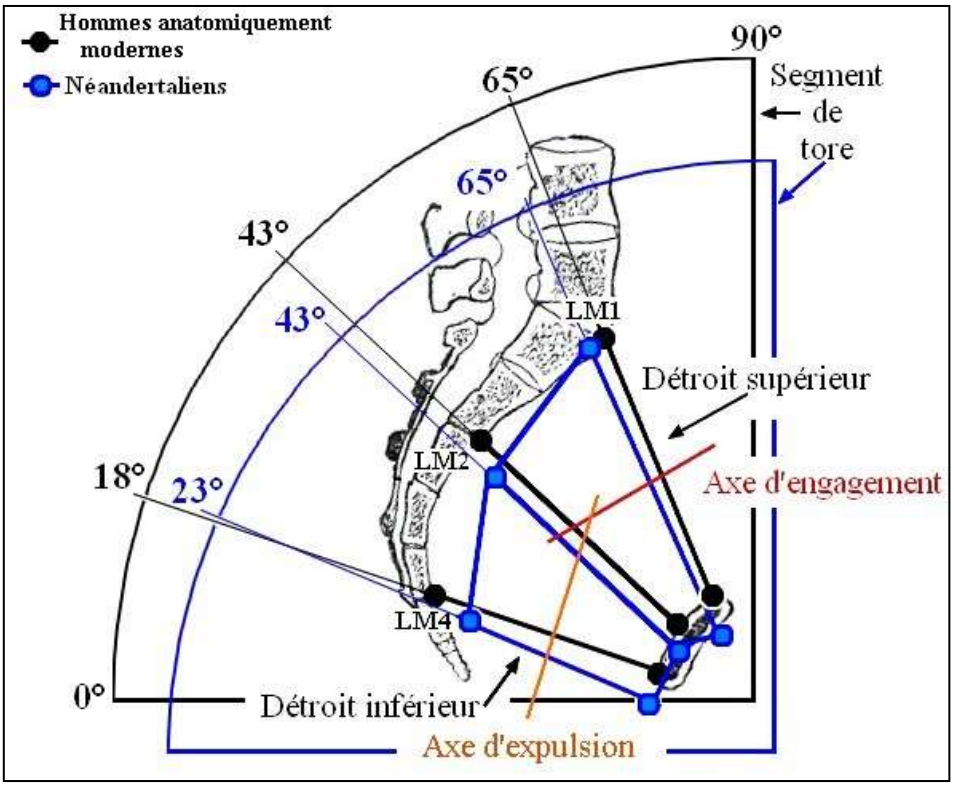


Figure 92. Morphologie comparée du consensus néandertalien et du consensus moderne, vue latérale.
Les consensus sont calculés par Analyse Procruste. Effectifs : moderne = 151, néandertalien = 3

Cette dernière observation ne signifie pas une absence de rotation lors de la naissance néandertalienne. En effet, le principal moteur de la rotation fœtale pendant l'accouchement moderne est la différence de direction entre le poussée utérine et l'axe d'engagement (ou axe du détroit supérieur), qui propulse la tête fœtale contre le pubis et, par réaction, le fait tourner pour s'engager dans la cavité. Or, chez les Néandertaliens, malgré de récentes données sur une orientation légèrement différente du sacrum (Been *et al.* 2012), nous pouvons supposer que cette différence de direction est du même ordre que chez les individus modernes (voir p. 86).

Finalement, avec une morphologie du canal obstétrical en segment de tore et une différence de direction entre la poussée utérine et l'axe d'engagement, le bassin néandertalien présente deux caractéristiques associées chez l'Homme anatomiquement moderne à la naissance rotationnelle. Nos résultats confirment donc l'hypothèse de la présence chez les Néandertaliens d'une naissance rotationnelle avec différents mouvements de rotation, de flexion et d'extension de la tête fœtale. Les mécaniques obstétricales sont donc de type

moderne, avec probablement certaines particularités liées à l'absence d'inversion du rapport « antéropostérieur/transverse » entre les trois détroits.

Pour préciser ces mécaniques, il faut à présent prendre en compte la morphologie du fœtus et aborder la question de la relation céphalo-pelvienne néandertalienne. L'analyse comparative des dimensions du bassin et de la tête fœtale permet ainsi de décrire avec précision les mouvements de l'enfant lors de la naissance néandertalienne.

IV.3.3. Données sur la relation céphalo-pelvienne et description des mécaniques obstétricales néandertaliennes

Notre analyse de la relation céphalo-pelvienne des Néandertaliens peut se faire de deux façons. Il est d'abord possible de mettre en relation le canal pelvien de Regourdou 1 avec un fœtus néandertalien moyen pour décrire les mécaniques obstétricales à partir de cet unique individu. Lors de cette analyse, se pose le problème de la détermination sexuelle de Regourdou 1 (proposer les mécaniques obstétricales d'un individu masculin est difficilement concevable). Pour contourner cela, il faut considérer la question de la variabilité morphologique du canal obstétrical néandertalien. Nous avons vu, au cours de nos travaux, que la variabilité interspécifique est plus importante que la variation morphologique due au dimorphisme sexuel. L'utilisation d'un individu consensus ou d'un individu moyen pallie donc le problème de la méconnaissance du sexe d'un individu. Nous allons donc décrire la relation céphalo-pelvienne entre le crâne d'un fœtus néandertalien moyen et le canal pelvien de plusieurs individus : Regourdou 1, un consensus néandertalien et un néandertalien moyen.

IV.3.3.1. Description des mécaniques obstétricales néandertaliennes à partir de la morphologie de l'individu Regourdou 1

Nous avons mis en évidence que les détroits obstétricaux de Regourdou 1 (Tableau 24) présentent certaines différences avec les détroits modernes. Cela concerne notamment le détroit inférieur dont les faibles dimensions doivent donc être mises en relation avec les

dimensions de la tête fœtale néandertalienne. Comme référentiel de ces dimensions, nous proposons un individu moyen construit à partir de données bibliographiques (Tableau 25) et dont les dimensions ont été corrigées par l'épaisseur totale des tissus mous (fœtaux et maternels) soit 10 mm (Abitbol 1996a, p.151).

Tableau 24. Dimensions obstétricales de Regourdou 1
sans prendre en compte et en prenant en compte la nutation[37] du sacrum.

		Détroit supérieur				Détroit moyen		Détroit inférieur	
		AP	Tr	ObD	ObG	AP	Tr	AP	Tr*
Regourdou 1	sans nutation	124,0	108,1	123,5	127,4	114,6	96,8	102,8	82,7
	avec nutation	109,0	108,1	123,5	127,4	114,6	101,8	117,8	87,7

AP : diamètre antéropostérieur, TR : diamètre transverse. * Ici, le diamètre transverse donné pour le détroit inférieur est le détroit bi-ischiatique médian

L'engagement du fœtus dans la cavité ne pose pas de problèmes, à condition que la flexion de la tête fœtale s'opère correctement. Dans ce cas, la dimension engagée est la plus petite dimension du crâne, soit le diamètre sub-occipito-bregmatique. Ce diamètre est compatible avec les dimensions du détroit supérieur de Regourdou 1. La première difficulté se place au niveau du détroit moyen et particulièrement du diamètre bi-épineux. Regourdou 1 présente un diamètre bi-épineux de 97 mm tandis que la plus petite dimension du fœtus néandertalien moyen, le diamètre bipariétal, est d'environ 91 mm, soit 101 mm corrigés. Il y a donc, au niveau du détroit moyen un risque de dystocie[38]. La principale incompatibilité entre le crâne fœtal néandertalien et Regourdou 1 se place au niveau du détroit inférieur. Le volume de la cavité pelvienne de Regourdou 1 (600 cm^3), bien que très faible par rapport à la variabilité moderne (voir p. 224) ne pose pas de difficultés : il est bien supérieur au volume crânien du fœtus moyen (390 cm^3). En revanche, la circonférence du détroit inférieur de Regourdou 1 (323 mm) n'est pas compatible avec les estimations de périmètres crâniens proposées, même non corrigées (Tableau 25). De la même façon, aucun des diamètres du détroit inférieur de Regourdou 1 n'est compatible avec les diamètres antéropostérieurs du crâne de notre individu moyen. Nous nous trouvons donc dans le cas d'une disproportion

[37] Voir p. 296
[38] La dystocie désigne une impossibilité (mécanique, physiologique, osseuse) au bon déroulement de l'accouchement (voir p. 13).

fœto-pelvienne : les dimensions fœtales et les dimensions du détroit inférieur du bassin Regourdou 1 ne sont pas compatibles.

Tableau 25. Données crâniennes fœtales (à terme) néandertaliennes. Revue bibliographique.

Auteurs	Individus	Volume crânien (ml)	Périmètre crânien (mm)	Diamètres (mm)		
				Occipito-frontal	Suboccipito-bregmatique	Bipariétal
Abitbol 1996				119	94	97
Ponce de León *et al.*, 2008	Mezmaiskaya 1	422-436				90
Gunz, et al. 2011	Le Moustier 2	408-428	339	114	97	88
Frémondière et Marchal 2013	Mezmaiskaya 1		325			90
	Pech de l'Azé 1*	326-384	336-355			90
	Roc de Marsal 1*	326-384	341-353			90-93
Individu moyen		389,25	339	116,5	95,5	90,3
Individu moyen corrigé			396	126,5	105,5	100

* Les données fœtales de ces deux individus ont été estimées mathématiquement à partir de leurs dimensions crâniennes effectives, grâce à des formules de régression (voir la publication).

Pour mieux analyser cette relation céphalo-pelvienne et décrire les mécaniques obstétricales, nous devons envisager plusieurs cas : 1. Regourdou 1 est un individu masculin, 2. c'est un individu féminin, 3. c'est un individu masculin ou féminin situé dans la zone de superposition des deux sexes, 4. c'est un individu mâle situé dans la zone « hyper-mâle » ou femelle situé dans la zone « hyper-femelle » (Figure 93). En considérant que le dimorphisme sexuel des Néandertaliens est d'un degré comparable au dimorphisme moderne (voir p. 58), nous sommes en mesures de proposer plusieurs hypothèses.

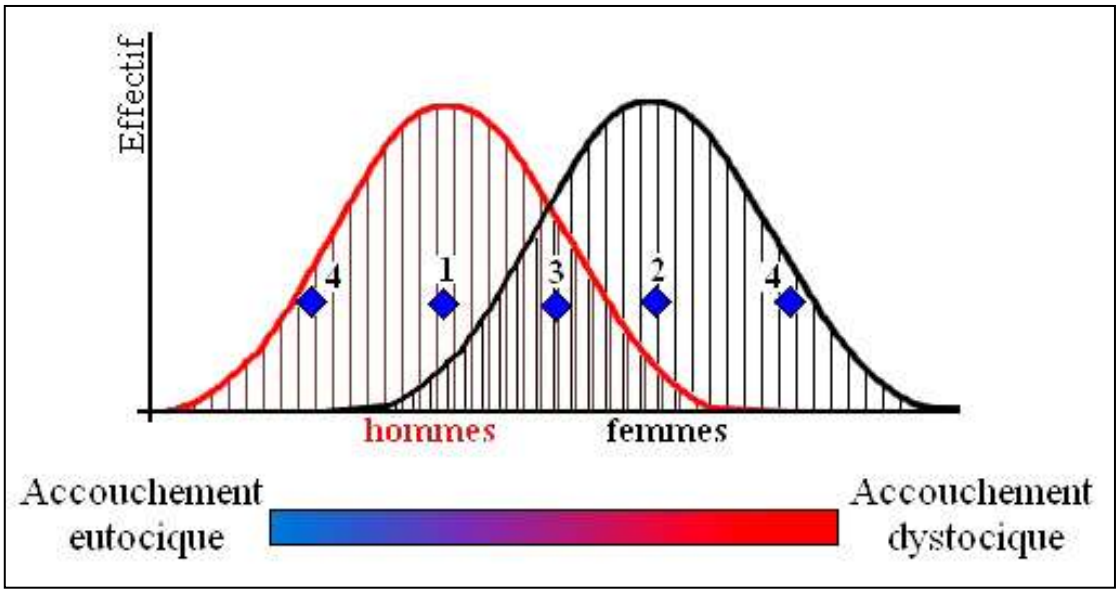


Figure 93. Position de Regourdou 1 au sein de la variabilité néandertalienne et évolution de la dystocie en fonction du cas considéré.

1. Regourdou 1 est un homme. Nous pouvons considérer que cette disproportion céphalo-pelvienne est normale. Les dimensions obstétricales masculines ne sont en effet pas toutes compatibles avec les dimensions fœtales. Nous avons calculé un dimorphisme moyen pour chacune des dimensions obstétricales utilisées dans cette étude (à partir des dimensions de la population moderne de référence). Partant de l'hypothèse d'un degré de dimorphisme sexuel équivalent chez les Néandertaliens [suivant par là (Tague 1992 ; Lorenzo *et al.* 1998 ; Ponce de León *et al.* 2008), voir p. 58], nous avons calculé la morphologie d'une femme néandertalienne moyenne à partir des dimensions de Regourdou 1 (Tableau 26).

Tableau 26. Données sur le dimorphisme sexuel moyen pour chaque dimension obstétricale de notre étude et estimation d'une morphologie néandertalienne féminine (en mm).

	Détroit supérieur				Détroit moyen		Détroit inférieur	
	AP	Tr	ObD	ObG	AP	Tr	AP	Tr*
Dimorphisme sexuel moyen	6,4 ±3	6,6 ±2	2,4 ±1	2,1 ±1	6,3 ±2	16 ±1	6,1 ±2	18 ±3
Dimensions féminines estimées à partir de Regourdou 1	130,4	114,7	125,9	129,5	120,9	112,8	108,9	100,70

Le dimorphisme sexuel moderne moyen a été calculé à partir de l'échantillon moderne de comparaison. Il représente, en millimètres, la moyenne de la différence de dimensions entre les individus des deux sexes. AP : diamètre antéropostérieur, TR : diamètre transverse. * Ici, le diamètre transverse donné pour le détroit inférieur est le détroit bi-ischiatique médian.

Les dimensions de cet individu féminin estimé sont compatibles avec celles du fœtus néandertalien moyen. Celui-ci peut s'engager selon diverses orientations en raison des larges dimensions du détroit supérieur. L'expulsion par contre ne peut se faire qu'en ap/AP (le diamètre antéropostérieur de l'enfant dans l'axe antéropostérieur de la mère), seule la dimension antéropostérieure du détroit inférieur est compatible avec le diamètre sub-occipito-bregmatique. Il n'y a pas de risques de dystocie au niveau du détroit moyen, à condition que la tête fœtale soit bien fléchie. Si l'enfant présente son diamètre occipito-frontal (en position défléchie), il peut s'engager mais ne peut traverser le détroit moyen. Au niveau du détroit inférieur, l'accouchement est eutocique mais les dimensions fœtales sont très proches des dimensions maternelles : le diamètre bipariétal de l'enfant (100 mm) doit passer à travers le diamètre transverse du détroit inférieur (100,7 mm).

Pour résoudre ce problème, il faut se placer dans un contexte dynamique, que ne traduit pas toujours l'analyse de la confrontation céphalo-pelvienne. Lors de l'accouchement, la nutation du sacrum, l'ouverture de la symphyse pubienne ou le modelage de la tête fœtale permettent de « gagner » quelques millimètres. Le mécanisme de nutation du sacrum [bascule du haut du sacrum vers l'avant (Figure 94)] est le mouvement de la ceinture pelvienne pendant l'accouchement le plus important (Wang et Dumas 1998). Il permet d'agrandir non seulement le diamètre antéro-postérieur du détroit inférieur mais aussi le diamètre transverse (Sashin 1930 ; Borell et Fernström 1957 ; Oldreive 1996). Dans le cas du diamètre sous-sacro-sous-pubien, l'agrandissement favorisé par la nutation peut aller jusqu'à 20 mm et de 5 à 10 mm au niveau des diamètres bi-ischiatiques et bi-épineux (Racinet 2005). Dans le même temps, la nutation raccourcit le diamètre promonto – rétro-pubien de 10 à 20 mm (Racinet 2005). Dans la suite de l'analyse et en cas de nutation, nous considérons que les diamètres antéropostérieures subissent une variation de 15 mm et les diamètres transverses de 5 mm.

L'ouverture de la symphyse pubienne est moins importante et non systématique (Becker *et al.* 2010). Le cartilage symphysaire [large d'environ 4 mm (Alicioglu *et al.* 2008)] peut s'élargir sous l'action hormonale, cela dès les premiers mois de la grossesse (Bahlmann *et al.* 1993 ; Cunningham *et al.* 2010). L'augmentation varie entre 1 et 3 mm (Björklund *et al.* 1997 ; Becker *et al.* 2010).

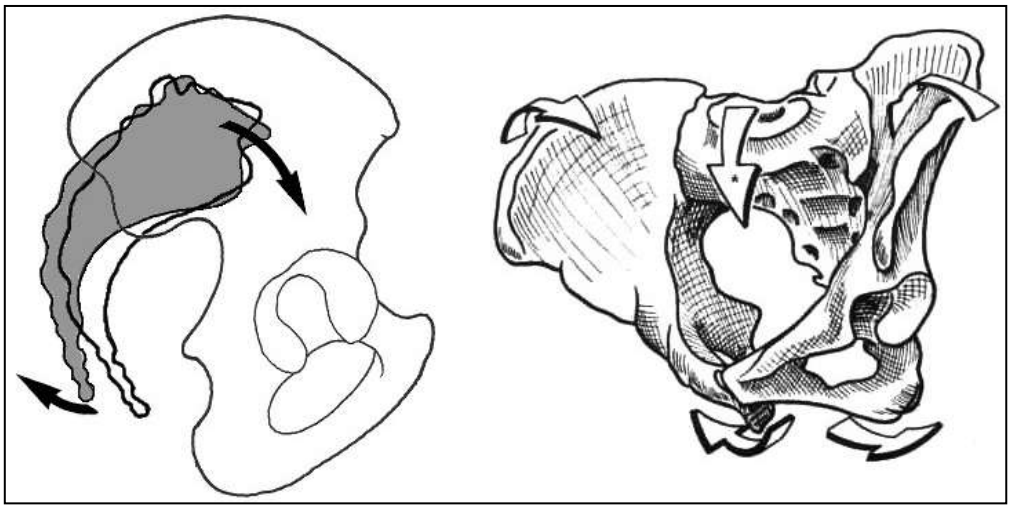


Figure 94. Mouvements des os du bassin lors de la nutation du sacrum.
Modifiée d'après Schaal *et al.*, 1998

Enfin, nous pouvons prendre en compte le modelage fœtal (McPherson et Kriewall 1980), qui réduit les dimensions de la tête fœtale. Le diamètre bipariétal peut ainsi être réduit d'au moins 1 mm (Sorbe et Dahlgren 1983 ; Lapeer et Prager 2001).

Ces trois mécanismes (l'ouverture de la symphyse pubienne, le modelage de la tête fœtale et surtout la nutation du sacrum) permettent donc de diminuer la disproportion céphalo-pelvienne. Dans le cas considéré (un individu féminin calculé à partir de Regourdou 1), le risque de dystocie osseuse au niveau du détroit inférieur est faible mais présent. Ces trois mécanismes, en agrandissant le détroit inférieur et en diminuant le diamètre bipariétal, facilitent l'expulsion : l'accouchement est alors complètement eutocique (d'un point de vue mécanique).

2. Regourdou 1 est une femme. Les dimensions obstétricales de Regourdou 1 sont incompatibles avec l'accouchement d'un fœtus néandertalien moyen (Figure 95). Le diamètre bi-épineux d'une part, et l'ensemble des dimensions du détroit inférieur sont plus petits que les dimensions fœtales. Cette disproportion indique la présence d'un accouchement dystocique chez les Néandertaliens.

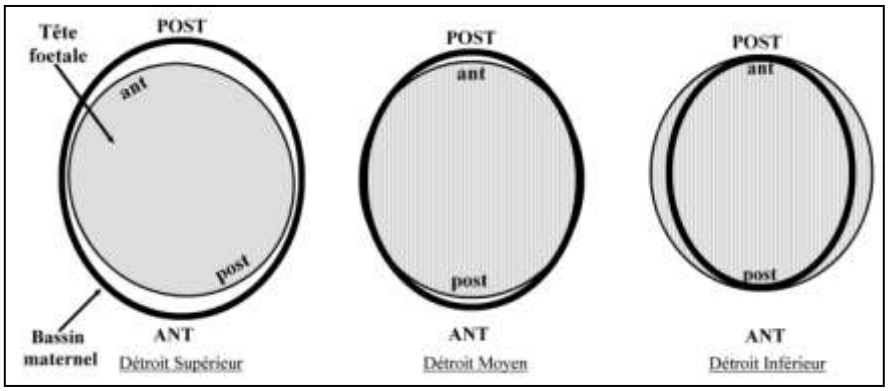


Figure 95. Description de la relation céphalo-pelvienne entre un fœtus néandertalien moyen et Regourdou 1, en l'absence de nutation du sacrum.

ANT : détroit antérieur, POST : détroit postérieur ; ant : crâne fœtal antérieur, post : crâne fœtal postérieur. Les ellipses sont tracées à partir des diamètres antéropostérieurs et transverses du canal pelvien et du crâne fœtal.

Il faut à nouveau se placer dans un contexte dynamique et prendre en compte les différents mécanismes qui permettent de diminuer la disproportion céphalo-pelvienne (voir p. 254). Grâce à la nutation, aucune difficulté ne subsiste au niveau du diamètre bi-épineux. En revanche, dans le cas du détroit inférieur, aucun des agrandissements du bassin ne permet d'obtenir un diamètre transverse qui puisse laisser passer le diamètre bipariétal fœtal de 100 mm (Tableau 24). Même en prenant en compte une nutation « extrême », qui agrandirait le diamètre bi-ischiatique moyen de 10 mm, il subsiste une disproportion céphalo-pelvienne au niveau du détroit inférieur (Figure 96). L'accouchement est hautement dystocique.

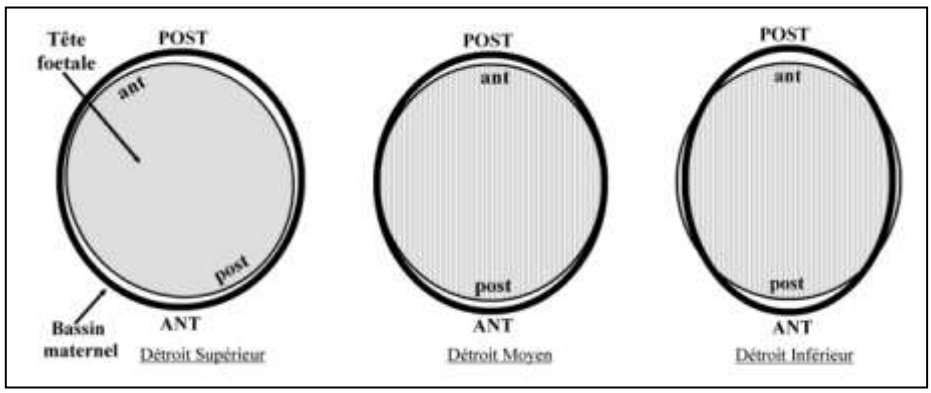


Figure 96. Description de la relation céphalo-pelvienne entre un fœtus néandertalien moyen et Regourdou 1, en prenant en compte une nutation de 10 mm au niveau du diamètre bi-ischiatique.

ANT : détroit antérieur, POST : détroit postérieur ; ant : crâne fœtal antérieur, post : crâne fœtal postérieur. Les ellipses sont tracées à partir des diamètres antéropostérieurs et transverses du canal pelvien et du crâne fœtal.

3. Regourdou 1 est un individu situé dans la zone de superposition des deux sexes. Nous pouvons considérer que ses dimensions obstétricales sont plus petites que la majorité des dimensions féminines. Si l'accouchement d'un individu de mêmes dimensions que Regourdou 1 est impossible (car trop dystocique), on pourrait penser qu'un individu de plus grandes dimensions est plus eutocique. Toutefois, vu les dimensions fœtales et celles du détroit inférieur, on constate qu'il « manque » 18 mm (soit 8-13 mm en prenant en compte la nutation et le modelage fœtal) pour que l'expulsion se fasse correctement. La variabilité du diamètre transverse du détroit inférieur est très importante (Tableau 26) mais rien ne nous permet de confirmer de telles variations au sein de l'échantillon féminin. Nous pouvons considérer que si Regourdou 1 représente la morphologie moyenne de la population globale néandertalienne (qu'il soit lui-même une femme ou un homme), le risque de dystocie dépend énormément de la variation du diamètre bi-ischiatique au sein de la population féminine.

4. Regourdou 1 est un individu extrême. Si Regourdou 1 est un individu hypermasculin, les petites dimensions de son canal obstétrical ne sont représentatives que de quelques individus au sein de la population. Dans ce cas là, la morphologie pelvienne d'une femme moyenne serait plus large encore que l'individu féminin hypothétique calculé lors de l'étude du cas 1. L'accouchement de cette femme hypothétique étant eutocique (voir p. 34), nous pouvons considérer que dans le cas d'une autre femme aussi, l'accouchement est eutocique. Si Regourdou 1 est un individu hyperféminin, l'accouchement est au contraire hautement dystocique. En effet, si on considère que Regourdou 1 est un individu féminin « extrême », cela signifie que la majorité de la population a des dimensions obstétricales plus petites que les siennes. Ces dimensions ne seraient absolument pas compatibles avec les dimensions fœtales.

À partir de nos résultats sur la morphologie du canal obstétrical de Regourdou 1, nous pouvons proposer soit l'hypothèse d'un accouchement néandertalien de type rotationnel, avec un risque de dystocie au niveau du détroit inférieur (en absence de nutation) et du détroit moyen, soit celle d'un accouchement hautement dystocique. Cette deuxième hypothèse est

l'interprétation de la morphologie de Regourdou 1 comme étant celle d'une femme, et nos conclusions mettent en évidence la nécessité de discuter de cette possibilité.

Dans le cas « Regourdou 1 est un homme » et considérant les données numériques de notre population modernes (diamètre bi-épineux de 108 mm, diamètre bi-ischiatique de 118 mm et diamètre bipariétal de 100 mm), nous faisons l'hypothèse que ce risque de dystocie est plus important chez Regourdou 1 que dans la population moderne.

Nous venons de proposer l'interprétation fonctionnelle des dimensions obstétricales d'un individu, Regourdou 1. Afin de compléter nos résultats, et de contourner l'obstacle de la méconnaissance du sexe de Regourdou 1, nous avons voulu proposer un nouvel axe d'analyse. Nous avons vu que la variabilité entre les populations est plus importante que la variabilité au sein d'une même population. L'individu consensus néandertalien, en nous apportant des informations sur la morphologie moyenne de la population, permet de prendre du recul par rapport à l'impossibilité de déterminer le sexe d'un individu fossile.

IV.3.3.2. Description des mécaniques obstétricales néandertaliennes à partir de la morphologie du consensus néandertalien

En comparant l'individu consensus néandertalien au consensus anatomiquement modernes, nous avons mis en évidence certaines différences, au niveau de la morphologie de la partie inférieure du canal, mais surtout l'absence d'inversion du rapport « antéropostérieur/transverse » entre le détroit supérieur et les détroits moyen et inférieur. Cette absence d'inversion ne signifie pas une absence de rotation lors de l'accouchement, mais elle souligne toutefois la possibilité de mécaniques obstétricales différentes des mécaniques modernes, avec une rotation moins importante, uniquement due à la différence de direction entre l'axe du bassin et la poussée utérine ainsi qu'à à la variété d'orientation de la tête fœtale lors de l'engagement. Le diamètre oblique du détroit supérieur étant la plus grande dimension du canal lors de l'engagement (Tableau 27), nous pouvons néanmoins supposer que le plus grand diamètre du fœtus (le diamètre sub-occipito-bregmatique) s'aligne préférentiellement le long de cette dimension (Figure 97). Il subit ensuite une rotation pour se

placer en ap/AP ou ap/TR (le diamètre antéropostérieur de la tête fœtale est aligné avec le diamètre transverse maternel) au niveau du détroit moyen.

Tableau 27. Dimensions obstétricales du consensus néandertalien sans prendre en compte et en prenant en compte la nutation du sacrum (en mm).

		Détroit supérieur				Détroit moyen		Détroit inférieur	
		AP	Tr	ObD	ObG	AP	Tr	AP	Tr*
Consensus néandertalien	sans nutation	119,4	128,2	134,3	134,8	106,5	109,8	91,3	101,5
	avec nutation	104,4	128,2	134,3	134,8	106,5	114,8	106,3	106,5

AP : diamètre antéropostérieur ; Tr : diamètre transverse ; ObD et ObG : diamètres obliques droit et gauche. * Ici le diamètre transverse donné pour le détroit inférieur est le diamètre transverse médian

Il n'y a pas de disproportion au niveau du détroit moyen, toutes les dimensions sont compatibles avec le plus grand diamètre fœtal (sub-occipito-bregmatique = 105,5 mm). En revanche, au niveau du détroit inférieur, la relation céphalo-pelvienne est disproportionnée : aucune dimension du détroit n'est compatible avec ce diamètre (Tableau 27). La dystocie est sévère, et l'expulsion n'est pas possible, quelle que soit l'orientation du fœtus dans le détroit (Figure 97).

Mais, en nous plaçant à nouveau dans un contexte dynamique, et en prenant en compte la nutation, le problème de la disproportion céphalo-pelvienne au niveau du détroit inférieur est résolu (Figure 98). Dans le cas d'un engagement en oblique (Figure 98a), le mobile fœtal reste dans cette orientation pour traverser le détroit moyen et tourne pour s'expulser. La direction de la poussée utérine favorise une rotation d'environ 45°, vers une position ap/AP. Dans le cas d'un engagement en transverse (Figure 98b), il n'y a pas de rotation, la tête fœtale pouvant traverser les trois détroits dans cette orientation. On sait que le fœtus s'accommode aux dimensions du détroit supérieur et aligne préférentiellement son diamètre antéropostérieur avec le plus grand diamètre de celui-ci. Or, chez l'individu consensus néandertalien, le plus grand diamètre du détroit supérieur est le diamètre oblique. Il permet même un engagement de la tête fœtale non fléchie (il est compatible avec le diamètre occipito-frontal de 126,5 mm). Le premier cas, avec un engagement en oblique est donc plus probable qu'un accouchement en transverse.

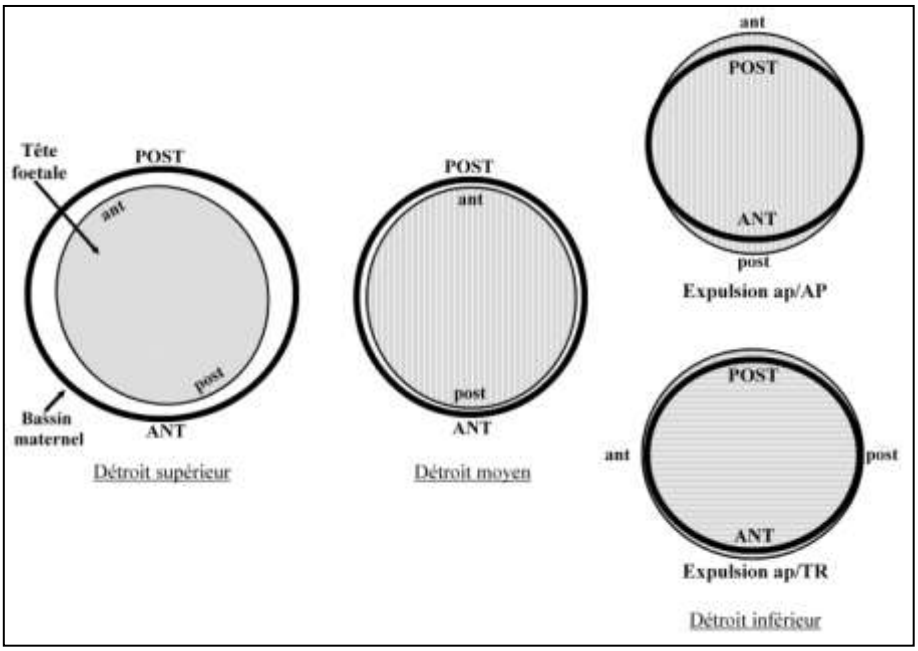


Figure 97. Description de la relation céphalo-pelvienne entre un fœtus néandertalien moyen et le consensus néandertalien, en l'absence de nutation du sacrum.

ANT : détroit antérieur, POST : détroit postérieur ; ant : crâne fœtal antérieur, post : crâne fœtal postérieur ; pour ap/AP et ap/TR, voir texte. Les ellipses sont tracées à partir des diamètres antéropostérieurs et transverses du canal pelvien et du crâne fœtal.

Bien qu'il n'y ait pas de disproportion céphalo-pelvienne, la dimension antéropostérieure du crâne fœtal est très proche des dimensions du détroit inférieur. Il y a donc un léger risque de dystocie. Ce risque, plus important que chez l'Homme anatomiquement moderne (le diamètre antéropostérieur du détroit inférieur moderne est d'environ 115 mm), peut être diminué en prenant en compte le modelage fœtal (voir p. 254).

À partir de cet individu consensus néandertalien, nous avons mis en évidence la possibilité de deux mécaniques différentes : l'une de type moderne, avec un engagement en oblique et une rotation dans la cavité et l'autre très particulière, avec un engagement et une expulsion en transverse, sans rotation. Cette deuxième mécanique est similaire à ce qui a été mis en évidence par Weaver et Hublin (Weaver et Hublin 2009) à partir de leur reconstruction de Tabun C1, nous y reviendrons dans la discussion. Nous avons montré aussi, en fonction de la morphologie du détroit supérieur et de la direction de la poussée utérine que la première hypothèse (mécaniques obstétricales de type moderne) est la plus probable. À la différence de l'accouchement moderne, la rotation ne se fait pas à l'entrée dans la cavité (entre le détroit supérieur et le détroit moyen), mais pendant toute la descente dans la cavité. Le fœtus traverse

ainsi le détroit moyen en orientation oblique mais est en position ap/AP lors de l'expulsion. Le risque de dystocie au niveau du détroit inférieur est légèrement plus important que le risque de dystocie moderne.

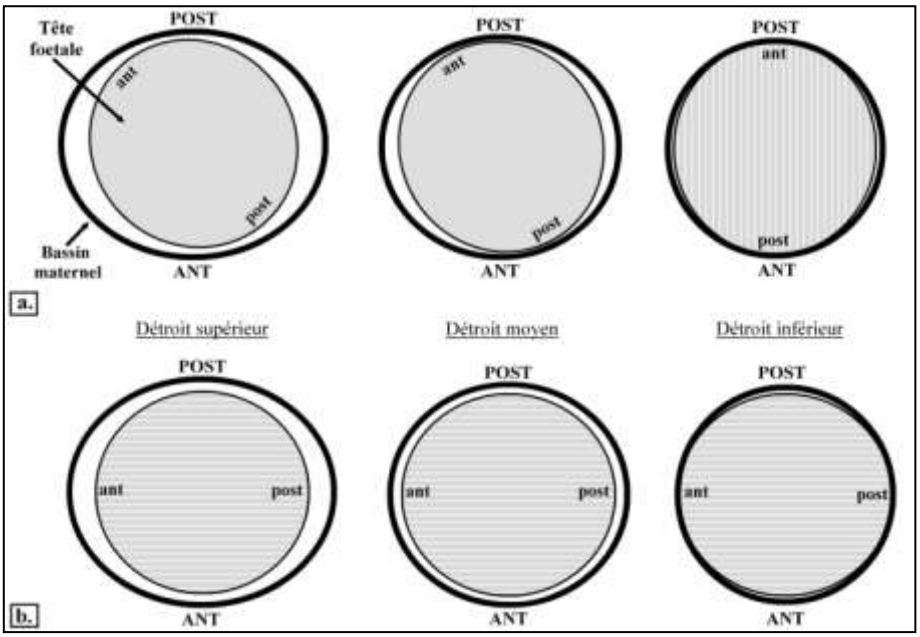


Figure 98. Description de la relation céphalo-pelvienne entre un fœtus néandertalien moyen et le consensus néandertalien, en prenant en compte la nutation du sacrum.

a. avec rotation et expulsion en ap/AP ; b. sans rotation, expulsion en ap/TR. ANT : détroit antérieur, POST : détroit postérieur ; ant : crâne fœtal antérieur, post : crâne fœtal postérieur. Les ellipses sont tracées à partir des diamètres antéropostérieurs et transverses du canal pelvien et du crâne fœtal.

IV.3.3.3. Description des mécaniques obstétricales néandertaliennes à partir de la morphologie d'un individu néandertalien moyen

Ces conclusions sont proposées à partir d'un individu consensus construit par Analyse Procuste Généralisée, et basé sur les trois spécimens néandertaliens virtuels de notre étude. Nous avons vu que cet individu présente un raccourcissement et un élargissement du canal pelvien par rapport au canal pelvien moderne. Ces caractéristiques peuvent en partie être dues à la morphologie de l'individu Tabun C1. Les données obstétricales de cet individu proviennent de la reconstruction proposée par Weaver et Hublin (Weaver et Hublin 2009), qui présente une platypelloïdie marquée. Or, il existe une autre reconstruction de Tabun C1, proposée par Ponce de León et collaborateurs (Ponce de León *et al.* 2008), dont les

dimensions obstétricales sont différentes. À partir de cette autre reconstruction, nous avons calculé un individu moyen, différent de l'individu consensus (Tableau 28).

Tableau 28. Dimensions obstétricales d'un individu moyen néandertalien sans prendre en compte et en prenant en compte la nutation du sacrum (en mm).

		Détroit supérieur		Détroit moyen		Détroit inférieur	
		AP	Tr	AP	Tr	AP	Tr
Néandertalien moyen	sans nutation	123,4	131,3	119,3	109,5	106,3	100,2
	avec nutation	108,4	131,3	119,3	114,5	121,3	105,2

AP : diamètre antéropostérieur ; Tr : diamètre transverse. * Ici le diamètre transverse donné pour le détroit inférieur est le diamètre transverse médian

D'après ses dimensions obstétricales, cet individu présente une inversion du rapport antéropostérieur/transverse entre le détroit supérieur et le détroit moyen, à l'image de ce qui est décrit sur la population moderne (Tableau 28). La rotation du fœtus serait donc ici comparable au schéma moderne (Figure 99). Bien que n'ayant pas accès à sa morphologie, nous pouvons supposer, à partir de l'ensemble de nos résultats précédents, que cet individu présente aussi un changement d'orientation entre les trois détroits dont l'angle est comparable à l'angulation moderne. Il y aurait donc les mêmes mouvements de flexion et d'extension du fœtus. Il n'y a pas de disproportion céphalo-pelvienne au niveau des détroits supérieur et moyen. Au niveau du détroit inférieur, le diamètre transverse est compatible avec le diamètre bipariétal fœtal (Figure 99). En nous plaçant dans un contexte de nutation, l'expulsion n'est pas dystocique.

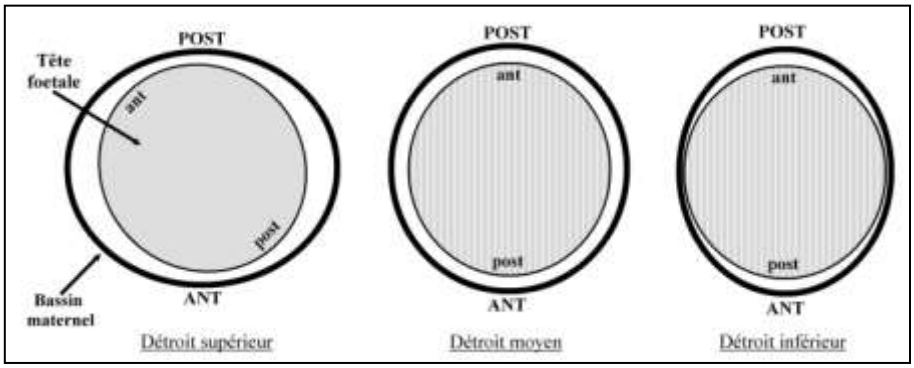


Figure 99. Description de la relation céphalo-pelvienne entre un fœtus néandertalien moyen et un individu néandertalien moyen, en prenant en compte la nutation du sacrum.

ANT : détroit antérieur, POST : détroit postérieur ; ant : crâne fœtal antérieur, post : crâne fœtal postérieur. Les ellipses sont tracées à partir des diamètres antéropostérieurs et transverses du canal pelvien et du crâne fœtal.

L'analyse de ce néandertalien moyen, construit à partir de Regourdou 1, Kebara 2 et d'une autre reconstruction de Tabun C1 nous permet à nouveau de proposer l'hypothèse d'une naissance rotationnelle chez Neandertal, avec un très faible risque de dystocie au niveau du détroit moyen et un risque de dystocie plus important au niveau du détroit inférieur. Contrairement à l'hypothèse construite à partir de l'individu consensus, la rotation se fait entre le détroit supérieur et le détroit moyen, de manière comparable à la rotation du fœtus moderne.

Bilan de l'analyse obstétricale

Ayant observé certaines différences entre les dimensions obstétricales néandertaliennes et les dimensions modernes, nous avons voulu approfondir en proposant une analyse fonctionnelle du canal pelvien de trois individus néandertaliens : Regourdou 1, Tabun C1, Kebara 2 mais aussi d'un individu consensus construit par GPA et d'un individu moyen. Nous avons mis en évidence la présence de caractéristiques associées à la naissance rotationnelle et avons pu préciser la relation céphalo-pelvienne et donc le risque de dystocie, pour chaque individu et chaque détroit. En se plaçant dans un contexte dynamique, c'est-à-dire en prenant en compte la nutation du sacrum et le modelage de la tête fœtale, trois hypothèses ont été proposées :

Regourdou 1 : naissance de type moderne, avec un engagement en oblique, une rotation dans la cavité et une expulsion en ap/AP (le diamètre antéropostérieur de l'enfant dans l'axe antéropostérieur de la mère). L'expulsion est faite grâce à une extension du corps fœtal, pour contourner le pubis. Le risque de dystocie au niveau du détroit moyen et du détroit inférieur est très important. Si on considère que Regourdou 1 est un individu féminin, l'accouchement est trop dystocique pour être réalisable.

Individu consensus : plus probablement, une naissance de type moderne, avec un engagement en oblique ou en transverse, une rotation dans la cavité, avant le passage du détroit inférieur et une expulsion en ap/AP (le diamètre antéropostérieur de l'enfant dans l'axe antéropostérieur de la mère). L'expulsion est faite grâce à une extension du corps fœtal, pour

contourner le pubis. Il n'y a pas de risques de dystocie au niveau du détroit moyen ; au niveau du détroit inférieur, le risque de dystocie est plus important que le risque moderne.

Individu moyen : naissance de type moderne, avec un engagement en oblique ou en transverse, une rotation avant ou pendant le passage du détroit moyen et une expulsion en ap/AP (le diamètre antéropostérieur de l'enfant dans l'axe antéropostérieur de la mère). L'expulsion est faite grâce à une extension du corps fœtal, pour contourner le pubis. Il y a un faible risque de dystocie au niveau du détroit inférieur, de même ordre que le risque de dystocie moderne.

Toutes nos hypothèses vont dans le sens d'une naissance de type moderne, seul diffère le moment exact de la rotation du fœtus. Nous pouvons donc aujourd'hui proposer l'hypothèse d'une naissance néandertalienne dont les mécanismes sont comparables aux mécaniques obstétricales modernes. L'engagement du fœtus se fait préférentiellement en oblique ; le mobile fœtal est en flexion et présente ainsi ses plus petites dimensions ; après une rotation dans la cavité pelvienne, le fœtus traverse le détroit moyen (avec un risque de dystocie variable), puis le détroit inférieur (avec un risque de dystocie) ; l'extension du fœtus permet son expulsion, en ap/AP (le diamètre antéropostérieur de l'enfant dans l'axe antéropostérieur de la mère).

V. Discussion

V.1. Considérations méthodologiques

V.1.1. Nouvelles mesures en morphométrie : risques et avantages

Nous avons utilisé, hormis certaines mesures pelvimétriques bien décrites dans la littérature (Gaillard 1960 ; Bräuer 1988), des mesures anthropologiques plus rarement utilisées, ou encore des mesures que nous avons définies en fonction de l'état de conservation de Regourdou 1. L'obtention de données de comparaison ne peut alors se faire que par l'observation directe de différentes collections et cela est parfois difficile, particulièrement pour des individus fossiles. C'est la raison pour laquelle certains spécimens du Paléolithique Moyen sont absents de cette étude (notamment ceux du Proche-Orient). Nous restreindre aux mesures décrites dans la littérature aurait eu comme conséquence la diminution des informations collectées sur Regourdou 1 et nous avons voulu privilégier la connaissance de ce spécimen.

L'analyse de la répétabilité et de la reproductibilité de chacune de nos variables a mis en avant le fait que la définition de ces mesures est correcte. L'incertitude intra-observateur est tout à fait acceptable (moins de 5 %) tandis que l'incertitude inter-observateur est plus importante (entre 1 et 10%) ; (Tableau 11). L'erreur de mesure est inhérente en anthropométrie (Kouchi *et al.* 1999 ; Harris et Smith 2009) et il est difficile de l'évaluer précisément. Dans le cas de l'incertitude inter-observateur, on considère qu'une des principales sources d'erreur est la différence d'efficacité (Kouchi *et al.* 1999). Dans notre cas, l'un des observateurs a pris ces mesures sur plus d'une centaine d'individus tandis que le reste du groupe est composé d'observateurs anthropologues plus ou moins familiers de la pelvimétrie. Or, globalement, le coefficient de variation montre une forte homogénéité entre les mesures : cette différence d'expérience a finalement peu d'influence sur l'erreur finale. Toutefois, l'augmentation de l'erreur entre les incertitudes intra et inter-observateur met en évidence l'implication de la définition des mesures et des points de repère utilisés, comme cela est courant en anthropométrie (Kouchi et Mochimaru 2011). Cela ne pose pas de

problème au sein de ce travail où tous les spécimens ont été mesurés par une seule observatrice mais cela montre la nécessité de préciser certains points et de mener une analyse de l'incertitude plus importante, pour identifier les principales causes de cette erreur.

V.1.2. Mesures obstétricales en paléoanthropologie virtuelle

Les mesures que nous avons utilisées pour notre analyse obstétricale sont habituellement prises sur le vivant lors d'examens médicaux [échographie ou IRM (Pattinson 2000 ; Kojima *et al.* 2002 ; Buthiau 2003 ; Huerta-Enochian *et al.* 2006 ; O'leary 2009b)]. Dans cette étude, elles ont été prises sur des bassins virtuels, construits à partir de CT-scans. Nous avons calculé la variation maximale de ces mesures en fonction de l'incertitude inter et intra observateur des points de repères qui leur sont associés. Dans le cas de l'incertitude intra-observateur, seul le diamètre transverse maximum est au dessus de 5 mm (avec 5,78 mm, soit environ 4,5%). L'erreur inter-observateur est comprise entre 3 et 7,5 mm, c'est-à-dire entre 2,7 et 5,8 % (Tableau 12).

Lors d'études radiopelvimétriques, on considère que le seuil d'acceptabilité de l'incertitude de mesure est 5 mm (Korhonen *et al.* 2010). Un tel seuil est difficile à appliquer dans notre cas, puisqu'il s'agit d'une erreur absolue, ce qui a peu de signification en anthropologie. Toutefois, dans la mesure où la majorité des erreurs absolues de notre étude sont sous ce seuil, nous pouvons considérer nos résultats comme acceptables. Sur le bassin, et principalement sur le coxal, la localisation de points (souvent définis comme des optimums de courbure) est difficile, ce qui peut avoir comme conséquence une erreur de mesure (Kouchi et Mochimaru 2011). C'est las cas par exemple du détroit transverse, dont l'incertitude importante est à mettre en relation avec le point LM16 (sur la ligne arquée). Dans ce travail, nous avons pu vérifier la nécessité d'un entrainement répété pour la prise de points et de mesures, quelque soit le matériel utilisé. Malgré ces réserves, une incertitude intra-observateur inférieure à 4,5 % (Tableau 22) montre que nos mesures, prises par une seule observatrice, sont assez robustes pour se prêter à une analyse ultérieure.

Parmi ces mesures, les diamètres antéropostérieurs et transverses des détroits ont été fréquemment utilisés dans les travaux de paléo-obstétrique (Berge 1991a ; Abitbol 1996a ;

Frémondière et Marchal 2013). Nous avons voulu ne pas nous restreindre au détroit supérieur (comme c'est souvent le cas) et prendre en compte d'autres diamètres, comme les diamètres obliques ou le diamètre bi-cotyloïdien. Cela permet non seulement de discuter la dystocie aux trois détroits (et pas seulement la dystocie d'engagement) mais aussi de dépasser la question de la confrontation céphalo-pelvienne à l'engagement (Frémondière et Marchal 2013) et de discuter les mécaniques obstétricales néandertaliennes dans leur globalité.

Ces dimensions ont été définies à partir de la morphologie pelvienne moderne et dans un contexte médical à destination de la population occidentale. En paléo-obstétrique, il est nécessaire de prendre en compte que les variables définies ne présentent peut-être pas la même importance chez d'autres espèces de la lignée humaine. Le diamètre bi-épineux, par exemple, a une importance capitale en obstétrique : c'est le plus petit diamètre du bassin (Gerace 1959 ; Abitbol 1996a). En raison d'une morphologie de l'épine sciatique différente, ce diamètre n'a pas la même signification obstétricale chez les autres Grands Singes ou les fossiles de la lignée humaine (Abitbol 1988). Les obstétriciens ont défini des diamètres « clés » en fonction de ce que nous savons de la difficulté et de la mécanique de l'accouchement moderne, ce qui induit un certain effet anthropomorphique, qui peut parfois masquer certaines caractéristiques du bassin d'autres représentants de la lignée humaine. Cependant, nous étudions un bassin néandertalien dont la morphologie et la taille ne s'écartent pas de la morphologie humaine moderne. De plus, dans le contexte du paradigme du paradoxe obstétrical (voir p. 68), nous pouvons considérer que les Néandertaliens ont des contraintes d'encéphalisation et de locomotion comparables à celles des Hommes anatomiquement modernes (Rosenberg et Trevathan 2001, 2002 ; Franciscus 2009). Il n'y a donc pas d'effet anthropomorphique dans notre étude, et l'utilisation des dimensions obstétricales modernes ne pose donc pas de problème.

De plus, il faut garder à l'esprit que les mesures obstétricales ne permettent pas de discuter de toutes les issues possibles d'un accouchement. Les obstétriciens soulignent aujourd'hui que la pelvimétrie est faiblement prédictive dans le cas d'un accouchement « normal » (Pattinson 2000 ; Zaretsky *et al.* 2005). La seule utilisation des données pelviennes et fœtales offre seulement un aperçu du potentiel déroulement de l'accouchement (Rozenberg 2007 ; Frémondière et Marchal 2013). C'est toutefois un bon indicateur, ce qui

justifie leur utilisation dans cette étude, en complément d'une analyse morphométrique du canal pelvien.

V.1.3. Méthode de reconstruction

Plusieurs choix méthodologiques ont guidé la reconstruction de la ceinture pelvienne de Regourdou 1. Le premier de ces choix réside dans la décision de reconstruire les fragments manquants grâce à une estimation des données manquantes. Il existe plusieurs types de reconstructions et nous avons pris le parti d'utiliser les nouvelles méthodes de l'anthropologie virtuelle, plutôt que des méthodes plus classiques. Nous avons voulu en effet nous démarquer de certaines reconstructions précédentes, comme par exemple celles de La Ferrassie 1 (Heim 1982b), de La-Chapelle-aux-Saints (Boule 1912), de Sts 14 (Robinson 1972) ou de WT15000 (Walker et Ruff 1993), qui sont aujourd'hui critiquées (Day 1973 ; Bouhallier et Berge 2006 ; Berger *et al.* 2010 ; Simpson *et al.* 2010 ; Frémondière et Marchal 2013). Nous verrons toutefois que la vision de la reconstruction virtuelle comme détachée des contingences d'interprétation personnelle ou d'erreur de reconstitution est erronée, voire naïve.

Certaines reconstructions virtuelles (ou des étapes de celles-ci) sont basées sur le déplacement et la manipulation des objets dans l'espace virtuel en trois dimensions (3D). C'est le cas des reconstructions de Tabun C1 (Ponce de León *et al.* 2008 ; Weaver et Hublin 2009) ou de la première étape de celle de Regourdou 1 présentée ici. En faisant cela, on transpose au monde virtuel les erreurs de manipulation faites auparavant directement sur les restes. D'autant plus que, pour l'œil et la main humains, le monde virtuel est bien moins précis que la réalité (Zollikofer *et al.* 1998). Toutefois, faites par ordinateur, ces reconstitutions présentent le net avantage de pouvoir être répétées, comparées et corrigées, jusqu'à obtenir un objet satisfaisant. De même, certaines méthodes pallient l'imprécision de la manipulation virtuelle grâce à la définition de points de repère « de juxtaposition » sur chacune des parties à assembler. En superposant ces points, on peut reconstruire la forme finale, comme cela a été fait pour Sts 14 (Berge et Goularas 2010). Malgré tout, ces méthodes ne permettent pas de résoudre la question de l'absence de certaines régions anatomiques. Face à la problématique de la conservation de Regourdou 1, avec notamment la faible

représentation de toute la partie antérieure de la ceinture pelvienne, nous avons finalement choisi de procéder par estimation des données manquantes.

Ce choix s'est imposé pour plusieurs raisons : basée sur des raisonnements mathématiques, l'estimation permet une reconstruction plus objective (Gunz 2005), qui prend en compte l'identité biologique de l'individu et conserve ses particularités individuelles (Neeser *et al.* 2009). De plus, elle nous a permis de définir, dès cette étape, certains points que nous utilisons dans le cadre de notre analyse obstétricale. Enfin, cela nous permet de comparer notre travail aux précédents travaux sur la ceinture pelvienne néandertalienne, notamment ceux de Weaver et Hublin (2009), qui ont effectué une estimation des données manquantes sur le bassin de Tabun C1, à l'aide de l'algorithme EM.

Le deuxième choix découle directement du premier : quelle méthode d'estimation des données manquantes choisir et quel échantillon de référence prendre en compte ? Pour répondre le plus objectivement possible à ces questions, nous avons opéré une comparaison entre trois méthodes sélectionnées pour leur utilisation précédente dans le cas de reconstruction d'individus fossiles : l'algorithme EM (Dempster *et al.* 1977), les régressions multiples [retravaillées à partir de (Neeser *et al.* 2009)] et les thin-plate spline (Gunz 2005). Grâce à cette analyse comparative nous avons pu sélectionner la méthode TPS, avec un seul individu de référence, Kebara 2. Nos résultats ont en effet montré qu'elle produisait l'erreur d'estimation la plus faible.

Points de repère : définition et précision

Avant de revenir sur nos résultats en fonction de ces différents choix, nous devons aborder la question des points de repère. Sur les 56 points définis en début de cette recherche 54 ont finalement été sélectionnés, en fonction des résultats de l'analyse de l'incertitude inter et intra-observateur lors de leur localisation (Tableau 12). La localisation des points présente une bonne répétabilité (incertitude <1,16 %).

La majorité de ces points ont été définis dans d'autres études (Weaver 2002 ; Bouhallier *et al.* 2004 ; Van Sint Jan 2007 ; Berge et Goularas 2010), au cours desquelles leur localisation a été faite sur un matériel ostéologique, à l'aide d'un digitaliseur. Dans notre cas,

les points ont été pris sur du matériel virtuel et nous avons pu noter que cela ne facilite pas la localisation de certains d'entre eux. Certaines structures ostéologiques (les lignes glutéales ou la limite ischium-pubis, par exemple) sont en effet moins visibles sur le matériel virtuel. C'est une donnée à prendre en compte lors de l'évaluation de l'erreur de localisation des points de repère et cela souligne à nouveau l'importance d'une observation et d'une manipulation directes, même au sein de l'anthropologie virtuelle (Zollikofer *et al.* 1998).

Estimation des données manquantes : choix de la méthode

Afin de consolider notre protocole, mais surtout face au nombre important des techniques, nous avons voulu tester différentes méthodes d'estimation des données manquantes. Cette analyse comparative représente la première étude de ce genre effectuée sur le bassin humain (Meyer *et al.* 2012b).

Nous avons étudié l'influence de plusieurs paramètres : le nombre de données manquantes, la taille de l'échantillon de référence disponible, la différence de sexe et la différence taxinomique entre cet échantillon et le spécimen à reconstruire. Cela nous a permis de déterminer la meilleure méthode à utiliser dans le cas de la reconstruction du bassin Regourdou 1. La prise en compte de la question de la différence taxinomique entre l'échantillon de référence et le spécimen cible permet d'appliquer cette méthode à différentes reconstructions de bassins, modernes mais aussi fossiles.

Nos résultats sur l'influence de la taille de l'échantillon et de la quantité de données manquantes rejoignent ceux de Couette et White (2010) et Neeser (2009). Le premier estime qu'un taux maximum de 20 % de données manquantes est acceptable, le second propose un seuil de 50 %. Nos analyses ont montré la présence d'un seuil à 30 %. Regourdou 1 présente plus de 60 % de données manquantes, soit au-delà de ces trois seuils, ce qui peut être problématique. La question de l'importance des données manquantes est une des limites de l'utilisation de ces méthodes d'estimation en paléoanthropologie. Un spécimen très fragmenté et dont la représentation est très faible produira ainsi une reconstruction potentiellement peu précise. Par ailleurs, la quantité importante de données manquantes peut avoir des répercussions sur les résultats des analyses ultérieures, comme l'analyse par géométrie

morphométrique (Couette et White 2010 ; Brown *et al.* 2012). Nous ne possédons pas d'indices ou de données comparatives nous permettant de discuter de la faisabilité d'une analyse par morphométrie géométrique sur notre reconstruction de Regourdou 1. Pour d'autres auteurs (Strauss et Atanassov 2006 ; Gunz *et al.* 2009), la reconstruction n'étant pas un obstacle, nous avons donc considéré que nos analyses fonctionnelles étaient possibles.

L'erreur résiduelle d'estimation augmente de façon significative dans le cadre de la reconstruction de Kebara 2 par notre échantillon moderne. Certains auteurs (Neeser *et al.* 2009) ont mis en avant que compte tenu de l'influence du paramètre taille de l'échantillon de référence, il fallait privilégier un échantillon interspécifique mais de taille importante, plutôt qu'un faible échantillon de même espèce. Gunz, par exemple, a reconstruit un spécimen australopithèque, à l'aide d'un échantillon d'Hommes anatomiquement modernes (Gunz *et al.* 2009). Dans le cas de la reconstruction de Regourdou 1, notre choix est différent. Nos résultats ayant montré que l'estimation de données manquantes d'un individu néandertalien par un échantillon moderne est peu précise, nous avons choisi un unique individu, Kebara 2, comme référence et utilisé une méthode compatible avec un seul spécimen de référence, la méthode TPS. Dans plusieurs de nos estimations, cette méthode s'est révélée être moins précise que la méthode RM, mais elle est effectivement très robuste dans le cas d'un petit échantillon, qualité déjà soulignée par Gunz (2005). Cela s'explique mathématiquement : la première étape de la méthode TPS consiste en la création d'un individu consensus à partir de l'échantillon de référence, l'estimation se fait ensuite à partir d'un seul référent (Gunz 2005). Dans le cas d'une estimation à un individu de référence, cette première étape ne se fait pas.

L'utilisation de Kebara 2 peut être discutée. Cet individu présente en effet quelques désavantages. S'il est généralement considéré comme un Néandertalien de l'Asie du Sud-Ouest, son appartenance taxinomique est encore discutée (par exemple, Tillier *et al.* 2008). De plus, même en acceptant le postulat que Kebara 2 est un Néandertalien, sa distance géographique et temporelle pose le problème de la variabilité néandertalienne. De la même façon, les nombreuses traces de pathologies, de traumatismes et de déformations taphonomiques, visibles même sur le bassin (Duday et Arensburg 1991 ; Rak 1991b), rendent complexe son utilisation. Les surfaces auriculaires, notamment, présentent certaines caractéristiques pathologiques, comme une petite taille et une dissymétrie, qui peuvent être

associées à des troubles de l'ossification (Duday et Arensburg 1991). De plus, la reconstruction du coxal, effectuée par Rak et Arensburg (1987) a été l'objet de critiques concernant principalement la reconstitution de la branche ischiopubienne, qui serait mal alignée (Ruff 1995 ; Weaver et Hublin 2009). D'après nos observations, cela n'affecte en rien la morphologie globale de ce bassin. Les atteintes pathologiques au niveau de l'articulation sacro-iliaque de Kebara 2 ont des conséquences sur la reconstitution de la ceinture pelvienne. L'orientation du coxal par rapport au sacrum est très variable, ce qui peut avoir des conséquences sur la morphologie de la partie inférieure du canal pelvien. Nos résultats ont montré que Kebara 2 se distingue justement de l'échantillon moderne par des petits diamètres antéropostérieurs dans le détroit inférieur. Cette morphologie est peut-être due à l'orientation choisie pour le sacrum lors de la reconstruction de cette ceinture pelvienne.

Malgré toutes ces limites, Kebara 2 a été utilisé dans les trois précédentes reconstructions virtuelles de bassin néandertalien (Ponce de León *et al.* 2008) (Ponce de León *et al.* 2008 ; Weaver et Hublin 2009 ; Chapman *et al.* 2010), comme modèle, individu de référence ou de comparaison. Il a longtemps été le modèle du bassin néandertalien et l'unique individu disponible pour une interprétation morphofonctionnelle [voir par exemple (Tague 1992 ; Abitbol 1996a ; Bouhallier et Berge 2006)]. Enfin, il reste à ce jour le bassin le mieux représenté du Paléolithique moyen eurasiatique. Il nous semble donc le plus adapté à notre protocole de reconstruction.

À la fin de notre analyse de comparaison entre les deux méthodes, nous avons choisi la méthode TPS plutôt que la méthode RM et l'individu Kebara 2 plutôt qu'un échantillon de référence moderne. Prenant en compte les critiques qu'on peut opposer à l'utilisation de Kebara 2, nous avons voulu vérifier ce qu'aurait donné une estimation avec notre échantillon moderne et grâce à la méthode RM. Le résultat de ce test (Figure 100), tout comme l'analyse de la distance moyenne entre cette reconstruction et la reconstruction à partir de Kebara 2 (plus de 50 millimètres en moyenne), nous confortent dans notre décision : l'objet issu de cette estimation est difficilement identifiable et ne peut se prêter à aucune analyse.

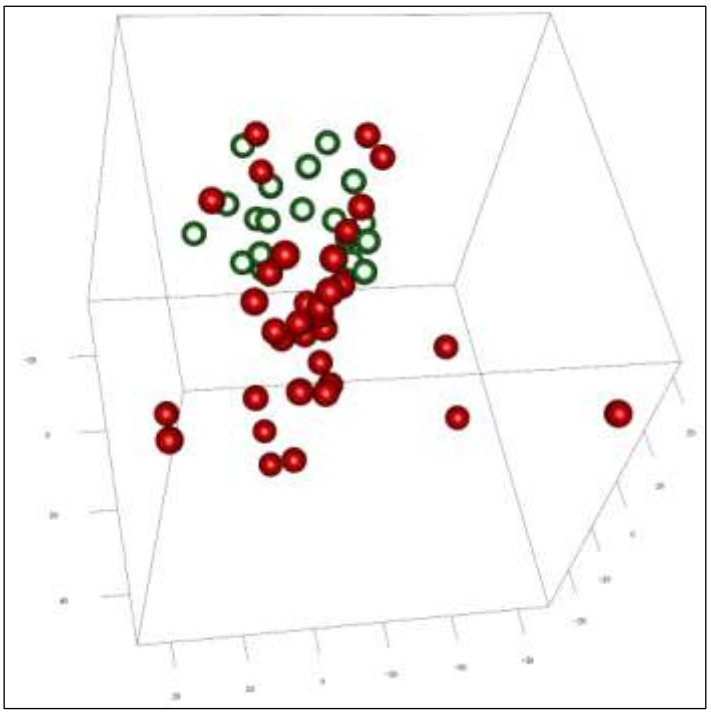


Figure 100. Nuage de points correspondant à la reconstruction de Regourdou 1 par régression multiple, grâce à un échantillon moderne.

On ne peut définir l'orientation de cette vue, tant l'image est déteriorée. En vert les points connus, en rouge les points dont les coordonnées ont été estimées.

Le choix de la méthode TPS pose question quand on interprète la définition mathématique des méthodes d'un point de vue biologique. En effet, celles-ci sont basées sur différents postulats de relation entre les différentes régions anatomiques d'un même os (ou d'un même ensemble osseux). Par exemple, la substitution par la moyenne part du principe que la moyenne d'une variable donnée peut représenter une valeur manquante ; elle ne prend donc pas en compte la variabilité inter-individuelle. C'est la raison pour laquelle elle est si critiquée (Schafer et Graham 2002 ; Gunz 2005 ; Neeser *et al.* 2009). La méthode TPS a un avantage, puisqu'elle prend en compte la morphologie initiale de l'individu, notamment dans la dernière étape de son déroulement (Gunz 2005). Toutefois, certains auteurs ont montré qu'il reste difficile de considérer que cette méthode, basée sur la déformation de « plaques minces » reflète vraiment la biologie de l'individu (Neeser *et al.* 2009). Ainsi, les méthodes basées sur les régressions, comme l'algorithme EM ou la méthode RM prennent mieux en compte la morphologie de l'individu dans le sens où elles identifient plus finement les variations d'une région anatomique par rapport à une autre. Il est possible que la méthode d'estimation choisie prenne moins en compte les particularités anatomiques (avec peut-être

une forte influence de la morphologie de Kebara 2 sur la reconstruction finale) mais notre analyse de comparaison a montré qu'elle présente les meilleurs résultats, dans le cas de la reconstruction d'un individu fossile, dont les parties manquantes sont nombreuses.

Reconstitution de l'articulation sacro-iliaque : choix de la méthode

Le choix de la méthode de reconstitution de l'articulation sacro-iliaque s'est fait entre deux méthodes : une méthode traditionnelle, avec une reconstruction à la main grâce à de la plastiline et une méthode virtuelle avec un positionnement dans l'espace 3D grâce au logiciel 3Dsmax (Autodesk®). Après plusieurs essais virtuels infructueux, nous avons préféré nous orienter vers la reconstitution manuelle. Nous ne sommes pas la première à noter que dans certains cas, rien ne peut remplacer la vision directe de ce que l'on fait ni surtout la main humaine (Zollikofer *et al.* 1998 ; Zollikofer et Ponce de León 2005). La manipulation reste en effet plus sensible et plus réactive que l'utilisation d'outils virtuels. Pour tester sa justesse, cette reconstitution a été opérée plusieurs fois par deux manipulateurs différents, ce qui n'aurait pas été possible virtuellement, le logiciel dédié à cette partie de notre travail nécessitant plusieurs heures de « mise en route ».

Nous savons que l'épaisseur du cartilage de l'articulation sacro-iliaque est fortement influencée par le poids et l'activité (Schultz 1930 ; Stewart 1938 ; Stockwell 1971 ; Kampen et Tillmann 1998), comme le sont d'ailleurs toutes les articulations du membre inférieur (Stockwell 1971 ; Adam *et al.* 1998 ; Shepherd et Seedhom 1999 ; Wyler *et al.* 2007). De la même façon, l'articulation sacro-iliaque, en tant qu'articulation synoviale, est plus épaisse chez un jeune adulte que chez un individu âgé (MacDonald et Hunt 1952 ; Belcastro *et al.* 2008). Toutes ces considérations ont été mises en rapport avec nos connaissances sur Regourdou 1 (un jeune adulte) et nous ont permis de déterminer l'épaisseur à donner à la plastiline pour simuler le cartilage sacro-iliaque. Chez l'Homme moderne, cette épaisseur est variable (voir p. 131) ce qui n'a pas facilité notre décision. Toutefois, au regard des résultats de cette étude bibliographique, l'épaisseur choisie de 5 mm est convenable. C'est par ailleurs le choix qui a été fait pour d'autres reconstructions d'Hominidés, notamment Sts 14 (Berge et Gommery 1999 ; Berge et Goularas 2010).

La question du choix entre la manipulation directe et la manipulation virtuelle s'est à nouveau posée lorsqu'il nous a fallu positionner les différents fragments de pubis et d'ischium par rapport à la partie postérieure de l'articulation sacro-iliaque. L'erreur inhérente à l'estimation des données manquantes, la fragilité des restes de Regourdou 1 qui limite la possibilité de les manipuler trop souvent et les différences morphologiques importantes entre Regourdou 1 et nos modèles (un individu moderne et Kebara 2) nous ont finalement poussée à abandonner cette partie de la reconstruction. Étant donné l'état des restes concernés (seuls trois points directs auraient pu être placés, donc six en comptant leurs symétriques), ces régions portent peu d'information. La quantité de données manquantes chez Regourdou 1 serait passée de 63 à 52 %, ce qui n'est pas significatif dans le cas de l'utilisation de la méthode TPS.

V.2. Regourdou 1 : apport d'un nouveau spécimen à la connaissance de la variabilité morphométrique des bassins néandertaliens.

Le bassin Regourdou 1 est avant tout caractérisé par une puissance marquée, notamment au niveau de l'ilium et de la tubérosité ischiatique. Bien que cela ait déjà été noté chez La-Chapelle-aux-Saints (Boule 1912) et La Ferrassie 1 (Heim 1982b), il faut souligner qu'elle ne semble pas être commune à tous les Néandertaliens. En effet, Trinkaus décrit les restes pelviens de Shanidar 1, 3 et 4 comme larges mais peu robustes (Trinkaus 1982, 1983). Chez Regourdou 1, cette puissance s'observe non seulement sur les insertions musculaires, qui peuvent témoigner d'une musculature développée, mais aussi sur l'épaisseur de l'os (par exemple, au niveau de l'incisure ischiatique) et sur la massivité de certaines structures anatomiques (comme l'épine iliaque antéro-inférieure). Les insertions des muscles petit fessier (*gluteus minimus*), obturateur (*obturator internus* et *externus*), carré fémoral (*quadratus femoris*), droit fémoral (*rectus femoris*), iliaque (*iliacus*), ischio-jambiers [dont le biceps fémoral (*biceps femoris*), le semi-membraneux (*semimendinosus*) et le semi-tendineux (*semitendinosus*)] sont bien marquées (voir annexe A, p. ii), ce qui indique une musculature très puissante. Ces muscles sont impliqués dans les mouvements de la cuisse et de la jambe, ainsi que dans le maintien de la stabilité lors de la station debout (voir annexe A, p. ii).

La puissance des membres des Néandertaliens pourrait être considérée comme une adaptation au froid (Holliday 1997 ; Steegmann *et al.* 2002 ; Weaver 2003 ; De Groote 2011 ; Walker *et al.* 2011c). Elle pourrait aussi être mise en relation avec un stress biomécanique plus important, en réponse à des charges mécaniques (Ruff *et al.* 1993 ; Ruff 1995 ; Chapman *et al.* 2010) ainsi qu'avec une mobilité importante (Stock 2006 ; Shaw et Stock 2011).

L'impression de puissance qui se dégage des coxaux de Regourdou 1 n'est pas observée sur son sacrum. Par ailleurs, aucun trait ne permet de différencier ce sacrum de celui d'un Homme anatomiquement moderne. Cela va dans le sens des résultats déjà obtenus par Trinkaus (Trinkaus 1983, 1984), Rak (1991b) ou Pap *et al.* (1996), qui soulignent qu'il y a peu de différence entre les sacrums de ces deux taxons. Parmi les Néandertaliens, le sacrum de Regourdou 1 se distingue par une importante asymétrie, particulièrement visible sur les ailerons. Il est important de l'envisager comme le reflet d'une asymétrie du bassin, même si elle est plus flagrante sur le sacrum que sur les fragments de coxal. Son degré la classe parmi les asymétries directionnelles (Kujanova *et al.* 2008), et elle peut être considérée comme un indice de charges mécaniques importantes (Plochocki 2002). Elle est discutée plus loin (voir p. 289).

Contrairement au sacrum, les fragments coxaux de Regourdou 1 présentent de nombreux caractères les différenciant de la morphologie moderne et déjà observés sur des bassins néandertaliens. La-Chapelle-aux-Saints, La Ferrassie 1, Kebara 2, Feldhofer 1, Krapina 207 et 209, Tabun C1, Amud 1 ou Shanidar 1, 3 et 4, Palomas 96 (pour ne citer que les plus complets) ont fait l'objet de nombreuses publications (Schaaffhausen 1888 ; Gorjanovic-Kramberger 1906 ; Boule 1912 ; McCown et Keith 1939 ; Endo et Kimura 1970 ; Heim 1982b ; Trinkaus 1983 ; Radovcic *et al.* 1988 ; Rak 1991b ; Walker *et al.* 2011b) et notre description permet de constater la récurrence de certains caractères. La déviation médiale de l'épine iliaque antéro-inférieure (peut-être associée à une incisure inter-épineuse antérieure profonde, non préservée chez Regourdou 1), l'étroitesse de la surface rétro-iliaque ou la profondeur de la gouttière sous-acétabulaire ont été fréquemment décrites et se retrouvent sur Regourdou 1. En ce qui concerne l'incisure inter-épineuse antérieure profonde, Majo (2000) a observé que ce caractère était présent chez les individus immatures de deux sites

moustériens : La Ferrassie et Qafzeh. Cet auteur souligne que, dans les deux cas, cette échancrure épineuse est profonde chez les individus immatures (La Ferrassie 6 et La Ferrassie 8 ; Qafzeh 10 et Qafzeh 21) mais que seuls les Néandertaliens conservent ce caractère à l'âge adulte.

La branche supérieure du pubis de Regourdou 1 présente un aplatissement cranio-caudal marqué. Cet aplatissement se retrouve chez Amud 1, qui est décrit comme « long et mince » (Endo et Kimura 1970), chez Kebara 2 (Rak 1990) et Shanidar 1 (Trinkaus 1983). En 1976, Trinkaus a montré que cette morphologie est commune aux Néandertaliens, non seulement du Proche-Orient mais aussi d'Europe (Trinkaus 1976).

La reconstruction virtuelle de Regourdou 1 nous permet d'avoir une estimation de la longueur de la branche supérieure du pubis de celui-ci. Nous avons mesuré cette dimension, à partir des données disponibles pour l'analyse obstétricale, sur Regourdou 1, Kebara 2, Tabun C1 et sur l'échantillon de comparaison moderne (Tableau 29). Le pubis de Regourdou 1 est significativement plus long que la population moderne, avec un ERA (écart réduit ajusté) égal à 1,5 et un Z-score de 3,1. Sa position, par rapport à la population moderne, est similaire à celle de Kebara 2. Par contre, Tabun C1 est dans la variabilité moderne. Certains auteurs ont montré que la différence de longueur du pubis entre Néandertaliens et Hommes anatomiquement modernes n'est pas toujours aussi nette que ce que nous observons chez Kebara 2 et Regourdou 1 (Trinkaus 1976 ; Rosenberg 2002b). De plus, nous avons mesuré une longueur absolue : il faudrait rapporter cette dimension à d'autres variables du coxal pour mieux évaluer la taille relative du pubis.

Tableau 29. Comparaison entre la longueur du pubis de Regourdou 1, Kebara 2, Tabun C1 et de la population moderne.

	ERA			Z-score		
	Pop. Totale	hommes	femmes	Pop. Totale	hommes	femmes
Regourdou 1	1,5	1,9	1,3	3,1	3,8	2,8
Kebara 2	1,7	2,0	1,5	3,4	3,8	3,2
Tabun C1	0,3	0,6	0,1	0,7	1,2	0,2

ERA : valeur de l'écart réduit ajusté ; Z-score : valeur du score Z.

Malgré une variabilité de dimensions et de taille, le groupe des Néandertaliens peut être vu comme un ensemble homogène, dont la morphologie globale est récurrente. Nous n'avons pas observé ce résultat sur le sacrum, ce qui est peut-être dû à notre faible effectif. L'analyse des variables une par une, via l'analyse probabiliste, place les Néandertaliens dans la variabilité moderne, pour presque toutes les variables considérées. L'analyse en composantes principales, qui prend en compte une combinaison de variables, montre au contraire une nette différence entre les individus modernes d'une part, et Kebara 2 et Regourdou 1 d'autre part. Cette opposition entre analyse univariée et multivariée traduit en quelque sorte la différence entre forme et conformation, à la base de la morphométrie géométrique (Krukhoff 1978 ; Slice 2007) : ce ne sont pas les dimensions qui distinguent le canal pelvien néandertalien du canal moderne, mais bien sa conformation (Krukhoff 1978). Ce résultat est à pondérer car il ne concerne pas tous les Néandertaliens : l'individu Feldhofer 1 est intégré dans la variabilité moderne, quelles que soient l'analyse et les variables considérées.

C'est donc dans la combinaison de caractères particuliers que se trouve la spécificité des Néandertaliens. Cette opposition entre variable isolée et recombinaison de plusieurs variables n'est pas propre aux bassins, c'est même une des caractéristiques de cette population. Elle a ainsi été observée par sur certains os du membre inférieur (Gambier 1982), mais aussi sur les caractères dentaires (Maureille 1994 ; Bailey 2006). Les individus néandertaliens présentent ainsi de nombreux caractères, morphologiques et métriques, qui pris un par un ne les différencient pas de la population anatomiquement moderne, mais dont la présence concomitante sur le même individu signe son appartenance à la population néandertalienne.

Parmi les caractères que nous avons décrits, aucun n'est spécifique à Néandertal ; ce ne sont donc pas des autapomorphies. Les Australopithèques présentent un pubis relativement long (Lovejoy 1975 ; Berge 1984 ; Kibii *et al.* 2011), ce qui est aussi le cas des pelvis BSN49/P27 [Gona (Simpson *et al.* 2008)], Pelvis 1 (Arsuaga *et al.* 1999) et Jinniushan (Lü 1995 ; Rosenberg *et al.* 2006). La longueur du pubis serait donc une plésiomorphie (Rak et Arensburg 1987 ; Rak 1990 ; Marchal 2000a). De la même façon, la finesse de la branche pubienne supérieure, considérée comme caractéristique des Néandertaliens (Trinkaus 1976 ; Marchal 2000b) a été décrite chez des spécimens n'appartenant pas à cette populations (Lü 1995 ; Arsuaga *et al.* 1999). L'hypothèse d'une adaptation biomécanique, en lien avec

l'importante masse corporelle, a été proposée (Marchal 2000a) et confirmée par Pelvis 1 [masse estimée de 90 kg (Arsuaga *et al.* 1999)]. Dans le cas de Regourdou 1, nous avons observé cette morphologie, sans pouvoir la mettre en lien avec une masse corporelle importante (estimée à 50kg, voir p. 105), ce qui interroge la question de la variabilité inter-individuelle mais peut aussi remettre en cause cette hypothèse. Par ailleurs, la déviation médiale de l'épine iliaque antéro-inférieure et l'étroitesse de la surface rétro-acétabulaire ont aussi été mises en évidence chez *Homo erectus* (Day 1971, 1982 ; Sigmon 1982 ; Castex 1988 ; Marchal 1997, 2000a).

Nous avons déjà présenté les différentes hypothèses concernant la morphologie pubienne néandertalienne (voir p. 82). D'un point de vue biomécanique, tous les caractères que nous avons présentés ci-dessous peuvent être mis en relation avec un changement global de conformation du bassin lié à l'élongation du pubis. C'est le cas par exemple de la position antérieure du pilier iliaque (Wolpoff 1999), de la morphologie de la tubérosité ischiatique ou de la déviation de l'épine iliaque antéro-inférieure. Une analyse biomécanique plus exhaustive de cette zone permettrait de mieux comprendre les enjeux musculo-squelettiques de ces caractéristiques.

Dans le cas de notre analyse, nous avons comparé un individu néandertalien européen, Regourdou 1, à des individus issus de différents sites d'Eurasie et particulièrement à plusieurs individus du Proche-Orient, comme Tabun C1, Kebara 2, Amud 1 ou Shanidar 1, 3 et 4. La variabilité morphologique que nous avons observée pour certains caractères pelviens au sein des Néandertaliens doit peut-être être modérée, eut égard aux différents débats sur les Néandertaliens orientaux et leurs relations avec les Hommes modernes du Proche-Orient ou les Néandertaliens européens. Diverses études mettent en avant d'une part la difficulté de définir deux populations au Proche-Orient et d'autre part l'absence d'homogénéité anatomique entre les Néandertaliens européens et asiatiques (McCown et Keith 1939 ; Thoma 1957 ; Howell 1958 ; Thoma 1958, 1965 ; Vandermeersch 1989 ; Arensburg 1991 ; Mann 1995 ; Arensburg et Belfer-Cohen 1998 ; Quam et Smith 1998 ; Rak 1998 ; Vandermeersch et Maureille 2007 ; Tillier *et al.* 2008). L'importante variabilité morphologique chez les individus dits néandertaliens ou anatomiquement modernes (Tillier 2005 ; Tillier *et al.* 2008), parfois au sein d'un même site (Stringer et Trinkaus 1981 ;

Wolpoff et Lee 2001) questionne le paradigme actuel de la coexistence de ces deux populations au Proche-Orient.

Pourtant, dans le cadre de notre travail, nous avons fait le choix de rester dans ce paradigme et d'intégrer dans un seul groupe de comparaison tous les individus aujourd'hui considérés comme néandertaliens (Mann et Maureille 2007 ; Vandermeersch 2007). Nos travaux sur la ceinture pelvienne de Regourdou 1 ont toutefois mis en évidence une certaine variabilité de taille et de conformation au sein de notre échantillon néandertalien. Le comportement très différent de Feldhofer 1, Regourdou 1 et Kebara 2 vis-à-vis de la population moderne, l'absence de consensus sur certains caractères (la longue branche du pubis, par exemple) ou les différences morphologiques conséquentes entre les individus Tabun C1 et Kebara 2 sont autant de faits qu'il nous faut prendre en compte. Ils pourraient refléter la présence de plusieurs populations (Tillier *et al.* 2008) ou la variabilité géographique et temporelle de la lignée néandertalienne (Fabre *et al.* 2009 ; Vandermeersch et Garralda 2011).

V.3. La reconstruction virtuelle de Regourdou 1 : précision et comparaison avec d'autres reconstructions

Dans ce travail, nous proposons la première reconstruction virtuelle du bassin Regourdou 1. Cette reconstruction est la quatrième effectuée sur un bassin néandertalien [après les deux reconstructions de Tabun C1 (Ponce de León *et al.* 2008 ; Weaver et Hublin 2009) et la reconstruction proposée par Chapman et collaborateurs (2010) à partir de Feldhofer 1, Spy II et Kebara 2].

L'état de conservation du bassin Regourdou 1 a suscité l'idée d'une reconstruction virtuelle préalable à l'analyse paléo-obstétricale. En effet, elle seule pouvait permettre une analyse fonctionnelle des dimensions du canal pelvien de cet individu. Il est très important de garder à l'esprit que cette reconstruction est avant tout un outil pour accéder à des résultats, et non pas une fin en soi. La question de la finalité de l'anthropologie virtuelle est très importante dans le domaine de la paléoanthropologie : lors d'une reconstruction virtuelle, ou de tout autre protocole virtuel, ceux-ci doivent s'adapter, au but final de l'étude (Weber *et al.*

2001). C'est la raison pour laquelle nous avons fait notre reconstruction à l'aide de points de repère définis dans l'optique de l'analyse obstétricale.

Nous avons ainsi décidé de nous concentrer sur les points disponibles au niveau du canal pelvien, au détriment d'autres points de la ceinture pelvienne ; de même, nous avons voulu limiter le nombre de points manquants chez Regourdou 1. Ce choix a des répercussions sur la morphologie de notre reconstruction, comme nous l'avons vu plus haut : l'aile est tronquée et en vue latérale, le bassin est difficilement reconnaissable. Toutefois, le canal pelvien est reconstruit, notre objectif de base est donc atteint.

La volonté de ne prendre que deux points au niveau de la crête iliaque se justifie aussi par le fait que peu de structures anatomiques précises (comme des insertions musculaires bien définies, des reliefs délimités) sont présentes dans cette zone. Nous pouvons comparer cette situation avec la localisation de points de repère sur le crâne. Le nombre de points définis dans la littérature est plus important (Martin 1914 ; Bräuer 1988) et leur prise est facilitée par la présence de nombreuses structures anatomiques précises, comme les sutures par exemple.

Nous avons vu que la localisation de points est plus difficile virtuellement que réellement, cela est d'autant plus vrai sur des surfaces courbes comme l'aile et la crête iliaques. La solution à ce problème pourrait être la définition de semi-landmarks sur la crête et sur l'aile, ce qui permettrait de retranscrire la morphologie de cette région anatomique. En effet, leur utilisation permet l'obtention de points homologues même sur des zones courbes ou surfaciques (Gunz *et al.* 2009 ; Weber et Bookstein 2011).

V.3.1. Erreur de reconstruction

Pour comparer notre reconstruction aux autres reconstructions de bassins fossiles, il est important d'aborder la question de son erreur. Ne connaissant pas la morphologie d'origine du matériel reconstruit, cette évaluation est une estimation. Nous avons déjà discuté de notre méthodologie, et nous avons pu voir qu'à chaque étape correspond une certaine erreur

d'amplitude variable. La chaîne opératoire de notre reconstruction nous permet de mettre en évidence ces erreurs (Figure 101).

La reconstruction que nous opérons est faite à partir des ossements obtenus en juin 2010. Il faut aussi prendre en considération que les atteintes taphonomiques, mais aussi les différentes manipulations du fossile depuis sa découverte, peuvent être à l'origine d'usure, de cassures ou de déformation. *A priori*, Regourdou 1 semble ne pas avoir été déformé ; malgré cela, l'état des restes, qui présentent de nombreuses cassures, dont certaines ont été recollées, peut être une source d'erreur, aussi faible soit-elle. Celle-ci est à la base de toutes les reconstructions et, comme c'est le cas ici, elle est souvent très difficile à évaluer et à corriger.

Reconstitution de l'articulation sacro-iliaque. Cette étape est entièrement réalisée à la main, nous pouvons donc envisager qu'elle soit source d'incertitudes. D'après les ordres de grandeur proposés dans la littérature pour l'épaisseur de l'articulation sacro-iliaque, une erreur d'estimation à ce niveau là reste faible ; elle réside principalement dans l'ajustement entre eux des trois os mais elle est faible quand on la compare avec la variation inter-individuelle (Bonneau *et al.* 2012). La morphologie du diamètre transverse maximum et la disposition particulière du point LM16D (sur la ligne arquée droite) sont des indices d'une potentielle erreur sur notre reconstruction. Toutefois, nous avons vu que cela n'a pas d'incidence sur la place de notre spécimen par rapport à la variabilité moderne ni de réelles conséquences sur nos conclusions obstétricales.

Localisation des points et utilisation de la symétrie latérale. Le placement de points de repère est une source d'erreur en morphométrie (Sint Jan et Croce 2005 ; Von Cramon-Taubadel *et al.* 2007 ; Ross et Williams 2008), toutefois notre analyse de l'incertitude intra-observateur nous a montré que les points pris sur Regourdou 1 sont robustes et facilement localisables. Weber et Bookstein ont souligné l'utilité de la symétrie pour réduire l'incertitude de localisation de certains points (Weber et Bookstein 2011, p.243). Dans le cas de Regourdou 1, qui présente une nette asymétrie au niveau du bassin, l'utilisation de la symétrie pourrait au contraire provoquer un biais important. En revanche, les résultats obtenus après l'estimation basée sur les points par symétrie gauche montre qu'un nombre minimal de points est nécessaire. L'utilisation d'une reconstruction globale, avec certains points à gauche

localisés grâce à la symétrie est donc un bon compromis entre cette nécessité et le respect de l'identité biologique de Regourdou 1.

Estimation des points manquants par TPS. Nous avons pu mettre en évidence que l'erreur d'estimation de cette méthode, basée sur un individu de référence est d'environ 13 mm. C'est l'erreur la plus importante de toute notre chaine opératoire. Elle est principalement due à l'importante quantité de données manquantes (plus de 60 %) chez Regourdou 1. Ce taux de données manquantes dépasse le seuil « acceptable » pour de nombreux auteurs (Neeser *et al.* 2009 ; Couette et White 2010 ; Weber et Bookstein 2011), c'est un des points les plus discutables de notre reconstruction. Comme nous l'avons déjà noté (voir p. 281), l'utilisation d'autres points de repères (comme les *semi-landmarks*, par exemple) permettrait d'augmenter l'échantillon de points présents et donc de diminuer le pourcentage de points absents. Elle offrirait aussi l'occasion de prendre plus de points dans la partie inférieure du coxal, moins bien représentée, afin de produire une estimation plus précise de la partie inférieure du canal pelvien.

Finalement, même s'il est difficile de la connaître précisément, on peut considérer que l'erreur de notre reconstruction est d'environ 15 mm (Figure 101). Si on considère que les dimensions pelviennes sont de l'ordre de 250 à 300 mm, cette erreur représente environ 5 %, ce qui est acceptable quand on la compare avec d'autres reconstructions. Elle pose toutefois un problème dans le contexte de la relation fœto-pelvienne, où une variation de 15 mm est très importante. Il est donc très important ici de rappeler que cette variation est une moyenne et qu'elle concerne surtout la localisation des points de repère.

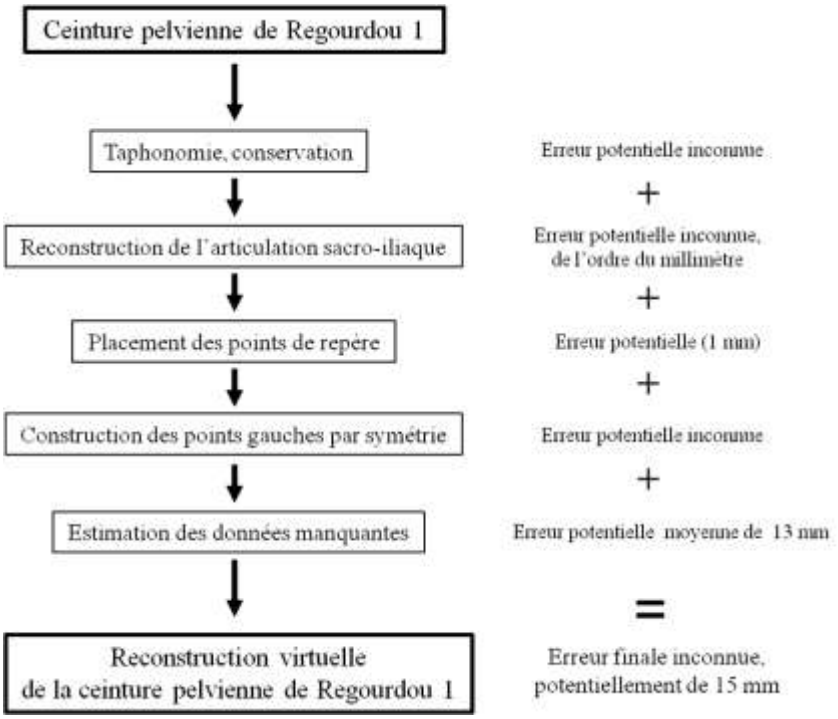


Figure 101. Chaîne opératoire de la méthode de reconstruction du bassin Regourdou 1
Pour chaque étape, l'erreur potentielle est donnée. Modifié d'après Guyomarc'h, 2011.

Nous avons testé l'influence de la reconstruction sur les dimensions obstétricales utilisées dans notre travail et nous avons pu constater que, mis à part les diamètres bi-ischiatiques, l'ensemble de ces dimensions a une variation de moins de 10 mm (soit 4 %). Chez Regourdou 1, les points présents sont principalement des points du sacrum et de la partie supérieure du canal pelvien. Les points inférieurs (ceux du pubis et de l'ischium) ont ainsi été intégralement estimés, ils sont moins précis. Cela explique cette variabilité d'erreur entre les différentes dimensions obstétricales. Cela met aussi en exergue la nécessité de reconsidérer l'utilisation des fragments isolés de Regourdou 1, qui sont surtout des fragments d'ischium.

Weber et Bookstein (2011) ont abordé la question de l'erreur inhérente à chaque reconstruction, physique ou virtuelle. Pour eux, chaque méthodologie doit être un juste milieu entre la nécessité de diminuer l'erreur et ainsi de reproduire une image le plus fidèlement possible (selon eux, l'avis du statisticien) et celle d'obtenir un objet à partir duquel des hypothèses peuvent être proposées et d'accéder à de nouvelles informations (l'avis du paléoanthropologue). Pour eux, l'apport scientifique de chaque reconstruction dépasse largement le désavantage de ne pas connaître avec précision l'erreur de celle-ci. Notre protocole de reconstruction se place tout à fait dans ce schéma. Tout en cherchant

mathématiquement le moyen de reconstruire Regourdou 1 avec un minimum d'erreur, nous avons malgré tout voulu produire un objet permettant une analyse fonctionnelle et la construction de nouvelles hypothèses.

V.3.2. Autres reconstructions virtuelles de bassins néandertaliens

Cette description de notre chaine opératoire nous permet de comparer notre reconstruction avec celles d'autres auteurs.

Dans la reconstruction proposée par Chapman et collaborateurs (2010), l'ensemble des membres inférieurs d'un individu néandertalien a été reconstruit à partir de trois individus différents (Kebara 2, Feldhofer 1, Spy II), à l'aide d'algorithme de mise en concordance (de mise à l'échelle notamment), dans le cadre d'une méthode dite « de fusion ». L'erreur estimée après cette fusion est de 10,8 mm, ce qui est du même ordre que ce que nous avons pu évaluer. Les auteurs interprètent cette erreur comme le résultat de la distance spatio-temporelle entre Kebara 2 et Feldhofer 1. Les différences de méthodologie et d'objectif de la reconstruction (une analyse du canal pelvien chez nous, une analyse biomécanique du membre inférieur dans cette étude) font qu'il est difficile de comparer nos deux reconstructions.

Celle du bassin de Tabun C1 par Ponce de León et collaborateurs (2008) pourrait être désignée comme une reconstruction indirecte. L'objet même de ce travail est la morphologie crânienne du nouveau-né néandertalien. Après avoir assemblé les restes disponibles du bassin de Tabun C1, les auteurs ont reconstruit le sacrum en prenant en compte les dimensions crâniennes de leur reconstruction de l'enfant de Mezmaiskaya. Bien qu'il ait été établi et validé par plusieurs expérimentations, ce protocole a ses limites : construire le bassin autour de l'enfant induit obligatoirement une relation fœto-pelvienne eutocique. L'erreur d'estimation des dimensions obstétricales va de 3 à 12 mm (Ponce de León *et al.* 2008), soit du même ordre de grandeur que notre propre reconstruction.

Lors de leur reconstruction du bassin de Tabun C1, Weaver et Hublin (2009) ont utilisé l'algorithme EM, avec un échantillon d'individus modernes, ce qui se justifie à plusieurs

niveaux (peu de points manquants, morphologie du sacrum peu divergente entre Néandertaliens et Hommes anatomiquement modernes). Peu d'informations sont données sur l'incertitude de cette reconstruction, les auteurs indiquant seulement une erreur d'estimation médiane de 0,10 (*sic*[39]). Il est donc difficile d'en discuter la validité. Les conclusions de ces travaux montrent un bassin dont la morphologie est très différente de ce qu'on observe chez l'Homme anatomiquement moderne. D'après les auteurs, en cas de dysfonctionnement, l'algorithme EM a au contraire tendance à homogénéiser l'individu reconstruit avec l'échantillon de référence ; une forte différence de morphologie indique donc que l'utilisation de l'algorithme n'a pas biaisé le résultat final. Pourtant, d'autres études montrent que l'algorithme EM tend à produire des individus extrêmes (Couette et White 2010). L'ensemble de nos résultats, notamment sur l'efficacité de cet algorithme lors d'une estimation inter-taxinomique, nous force à rester critique envers cette reconstruction, d'autant que la morphologie finale de la ceinture pelvienne est très particulière.

Les deux reconstructions de Tabun C1 précédemment citées produisent deux morphologies du canal pelvien très différentes (Tableau 30). La platypelloïdie extrême de l'individu reconstruit par Weaver et Hublin explique leur hypothèse finale d'une naissance non rotationnelle et d'une expulsion en ap/TR (le diamètre antéropostérieur de la tête fœtale est aligné le long de l'axe transverse du bassin maternel). Dans notre étude, nous avons majoritairement utilisé des dimensions prises sur cette reconstruction, mais nous avons aussi pris en compte les données de Ponce de León et collaborateurs.

Tableau 30. Dimensions du canal pelvien des reconstructions virtuelles de Tabun C1.

Reconstruction	Détroit Supérieur		Détroit Moyen		Détroit inférieur	
	AP	Tr	AP	Tr	AP	Tr
Ponce de Leon, *et al.* 2008	109-121	143-145	131-141	114-122	123-134	116-126
Weaver et Hublin 2009	104	131			93	132
Notre étude[1]	102	135	98	113	91	130

AP : diamètre antéropostérieur. Tr : diamètre transverse. Toutes les dimensions sont en millimètres. Elles sont issues de la littérature, sauf celles de ce travail. [1]Les dimensions utilisées dans ce travail ont été prises sur la reconstruction virtuelle de Tabun C1 mise en ligne par Weaver et Hublin, grâce à la localisation de nos propres points de repère sur la surface 3D.

[39] « the median error (0,10) » (Weaver et Hublin 2009, p. 8152)

À partir du tableau ci-dessus, nous avons voulu proposer à nouveau les nuages de points concernant chaque détroit, en prenant cette fois-ci en compte les trois versions de Tabun C1 (Figure 102). Contrairement à la reconstruction de Weaver et Hublin, la reconstruction de Ponce de León est bien intégrée à l'échantillon moderne. Là aussi, cela est concordant avec la méthode de reconstruction des auteurs ainsi qu'avec leurs conclusions (la présence de mécaniques obstétricales de type moderne). L'utilisation même de Tabun C1 dans un cadre obstétrical peut poser question. La faible représentation de cette ceinture, l'absence de connexion entre les différents fragments ou l'état taphonomique des restes ont sans aucun doute des conséquences sur la qualité des reconstructions de cet individu et des résultats qui en sont issus.

Ces considérations mettent en exergue l'importance de la méthodologie de reconstruction, ainsi que son influence sur les résultats finaux. Deux reconstructions différentes (associées à trois prises de points de repère) conduisent en effet à trois morphologies pelviennes différentes. Même si la reconstruction virtuelle est souvent considérée comme plus objective que la reconstruction classique, nous voyons ici à quel point la subjectivité des auteurs reste conséquente. Ses choix méthodologiques mais aussi ses objectifs entrent en jeu lors de la mise en œuvre de la reconstruction.

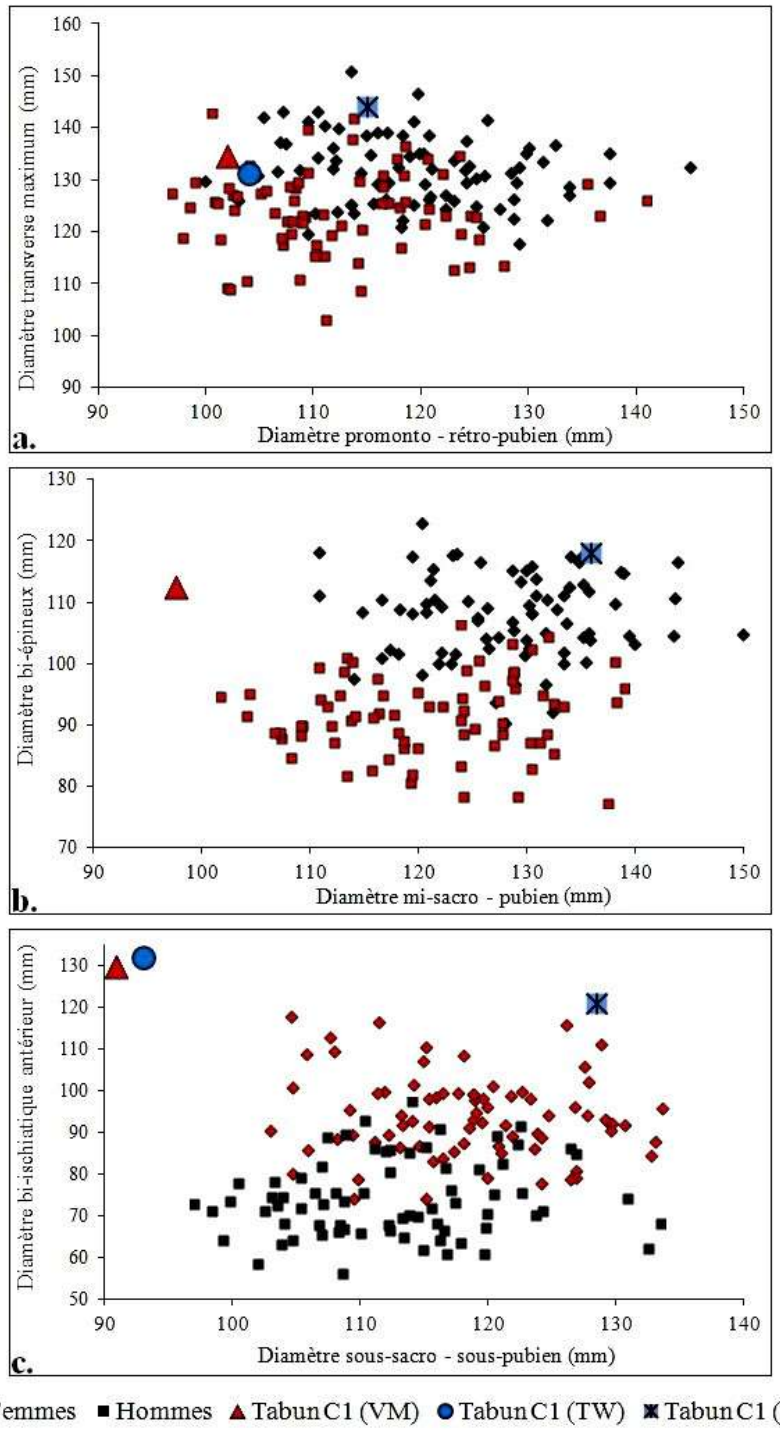


Figure 102. Nuages de points prenant en compte les trois reconstructions de Tabun C1.
a. Détroit supérieur, b. Détroit moyen, c. Détroit inférieur ; VM : notre étude, TW : Weaver et Hublin, 2009 ; PdL : Ponce de León, et al., 2008

Dans ce travail, c'est particulièrement évident en ce qui concerne le choix des points de repère, définis dans le but d'une analyse obstétricale. La reconstruction finale, bien détaillée en ce qui concerne le petit bassin, peu précise pour le grand bassin, est une conséquence de

cette sélection. Par ailleurs, dans le cas de Regourdou 1, un des principaux biais de ce protocole (avec le nombre important des données manquantes, déjà discuté) est l'utilisation d'un individu dont nous avons déjà détaillé certaines particularités (voir p. 271). Toute la partie antérieure de la ceinture pelvienne de Regourdou 1 est donc intégralement estimée à partir de la morphologie de celle de Kebara 2. C'est particulièrement visible dans le cas du pubis : la longueur de la branche pubienne supérieure de Regourdou 1 reconstruit est très proche de celle de Kebara 2 (voir p. 277) et cela explique que pour certaines analyses, nous avons pu regrouper ces deux individus. Il faut donc garder à l'esprit que l'individu dont nous faisons l'analyse obstétricale n'est pas Regourdou 1 à proprement parler, mais sa reconstruction à partir d'un autre individu. Toutefois, certaines particularités de conformation de Regourdou 1, mises en évidence lors de l'analyse par morphométrie géométrique, montrent que l'identité morphologique de cet individu est bien conservée, ce qui est en partie dû à la spécificité de la méthode TPS.

V.4. Analyse obstétricale de la ceinture pelvienne de Regourdou 1 : influence de l'asymétrie et du sexe.

V.4.1. L'asymétrie du bassin Regourdou 1 : réflexions sur sa nature et son étiologie

Lors de l'analyse morphométrique, nous avons pu mettre en avant la présence d'une importante asymétrie sur le bassin Regourdou 1, particulièrement visible au niveau du sacrum. La reconstruction de la ceinture pelvienne conserve cette asymétrie, toutefois elle a peu d'impact sur les dimensions obstétricales. Les deux diamètres obliques sont effectivement légèrement différents chez Regourdou 1, mais il est important de noter qu'une différence de même ampleur se trouve aussi dans notre échantillon moderne. Par contre, l'analyse de la conformation montre effectivement une légère asymétrie au niveau des points LM6 (articulation sacro-iliaque) et LM16 (sur la ligne arquée), ce que nous pouvons interpréter comme une conséquence directe de l'asymétrie du sacrum. Un de nos principaux objectifs

était de mettre en place une méthode qui permette de caractériser la morphologie de Regourdou 1, la conservation de cette asymétrie montre que nous y sommes parvenue.

Deux types d'asymétrie touchent le squelette : l'asymétrie fluctuante, qui représente l'asymétrie normale de chaque individu et l'asymétrie directionnelle, qui traduit une prédominance d'un côté sur l'autre (Al-Eisa *et al.* 2004 ; Benderlioglu et Nelson 2004 ; Deleon 2007 ; Kujanova *et al.* 2008). Par son importance et son orientation préférentielle, l'asymétrie de Regourdou 1 peut être cataloguée comme directionnelle.

Dans la littérature médicale, l'asymétrie du bassin est bien documentée, notamment à cause des douleurs dont elle pourrait être l'origine [eg (Egan et Al-Eisa 1999 ; Al-Eisa *et al.* 2004 ; Al-Eisa *et al.* 2006 ; Boulay *et al.* 2006 ; Gnat *et al.* 2009)]. Généralement, elle peut avoir des conséquences sur la posture de l'individu (Boulay *et al.* 2006 ; Lubovsky *et al.* 2010) et peut être mise en relation avec ce qu'on appelle le « short leg syndrome » (Badii *et al.* 2003). Elle peut aussi provoquer d'importantes douleurs dorsales, notamment au niveau des lombaires et de l'articulation sacro-iliaque (Egan et Al-Eisa 1999 ; Al-Eisa *et al.* 2004 ; Pel *et al.* 2008).

Une asymétrie directionnelle au niveau du bassin indique l'accommodation à un déséquilibre des forces exercées sur la ceinture pelvienne (Riegger-Krugh et Keysor 1996 ; Gnat *et al.* 2009). Cela a été démontré par exemple grâce à de nombreuses études sur le lien entre cette asymétrie et la pratique intensive d'un sport (Krahl *et al.* 1994 ; Ducher *et al.* 2005 ; Bussey 2010). Elle a aussi été associée à une intense activité de portage (Plochocki 2002 ; Al-Eisa *et al.* 2004). Dans ces cas-là, l'asymétrie du membre inférieur est corrélée à l'asymétrie des membres supérieurs, en étant observée sur le membre opposé au membre dominant (Plochocki 2002, 2004). Il est ainsi intéressant de mettre en rapport la morphologie de Regourdou 1 avec d'une part son activité (physique ou de portage) et d'autre part sa latéralité.

L'individu Regourdou 1 est bien conservé, notamment au niveau des membres supérieurs ; l'analyse de la robustesse mais aussi de l'organisation trabéculaire des os de son bras et de son avant-bras ont permis de proposer l'hypothèse d'un individu droitier (Volpato *et al.* 2012). Il est donc envisageable que l'asymétrie du sacrum de Regourdou 1, avec une

prédominance de l'aileron gauche, soit la conséquence d'une asymétrie directionnelle liée à l'utilisation privilégiée du membre supérieur droit. Cette hypothèse est toutefois pondérée par le fait que la formation du sacrum se fait tôt dans l'enfance (Scheuer et Black 2000), ce qui diminue l'influence de l'activité sur sa morphologie. De plus amples analyses, à la fois sur le sacrum et sur les os longs de Regourdou 1 (dont certains présentent une asymétrie), permettraient d'approfondir cette question.

L'asymétrie du bassin est considérée comme fréquente par certains auteurs (Al-Eisa *et al.* 2004 ; Al-Eisa *et al.* 2006), pourtant nous ne l'avons observé sur aucun individu de notre échantillon de comparaison. Par contre, une morphologie comparable a été observée sur deux autres sacrums du Paléolithique moyen : Pelvis 1 (Bonmati *et al.* 2010) et La-Chapelle-aux-Saints (Trinkaus 2011 ; Gomez-Olivencia 2013). Chez le premier, elle est désignée comme étant idiopathique, pour le second, il est uniquement fait mention d'une asymétrie de développement au niveau de l'arc neural [«developmental asymmetry or post-mortem deformation» (Trinkaus 2011, p. 465)]. L'interprétation de l'asymétrie de Regourdou 1 comme étant la conséquence de charges différentielles et de sa latéralité invite à rediscuter des observations faites sur ces individus. Il serait ainsi intéressant de discuter de cette morphologie sur un échantillon moderne de plus grand effectif, à l'aide des techniques de la morphométrie géométrique, par exemple [eg (Klingenberg *et al.* 2002 ; Weber et Bookstein 2011 ; Krajícek *et al.* 2012)] afin de mieux comprendre ce que nous avons décrit chez Regourdou 1 et ce qui a été décrit chez Pelvis 1 et La-Chapelle-aux-Saints.

En ce qui concerne les liens entre l'asymétrie du bassin et l'accouchement, peu de données existent. Les obstétriciens considèrent que la prédominance de l'orientation OIGA du fœtus lors de l'engagement est due à l'asymétrie fluctuante du bassin maternel (Abitbol 1996a ; Cunningham *et al.* 2010), sans que ce soit un frein à l'accouchement par voie basse. Par contre, un bassin très dissymétrique (traumatismes, pathologies) peut être à l'origine de grave dystocie (Schaal *et al.* 1998). Dans le cas de Regourdou 1, il est probable qu'il n'y ait pas de

conséquences sur les mécaniques obstétricales, le fœtus s'accommodant de lui-même au plus grand diamètre du détroit supérieur[40] (Aidouni 2009).

V.4.2. Sexe de Regourdou 1 et dimorphisme sexuel néandertalien : apport de nos travaux.

Lors de notre travail, nous avons abordé la question des mécaniques obstétricales néandertaliennes, population dont la détermination sexuelle ne peut être faite avec certitude selon les méthodes définies à partir de la population moderne. Ce choix d'apparence arbitraire était motivé par le fait que la variabilité de la morphologie pelvienne est plus importante entre deux populations (et *a fortiori* entre deux espèces) qu'entre les deux sexes d'une même population. Nous avons vu que la variabilité morphologique pelvienne est plus importante entre les populations qu'entre les sexes (voir p. 60). Dans le cas de notre analyse, en ce qui concerne le détroit supérieur, Regourdou 1 se distingue nettement de la variabilité moderne (Figure 103). L'analyse fonctionnelle de sa morphologie, en dehors de toute considération d'appartenance sexuelle, peut donc apporter de nouvelles informations sur l'obstétrique néandertalienne, en comparaison avec la morphologie globale moderne, hommes et femmes confondus (Tague 1991).

[40] En effet, d'après la loi de Pajot, dite loi d'accommodation, « quand un corps solide est contenu dans un autre […] le contenu tendra sans cesse à accommoder sa forme et ses dimensions aux formes et à la capacité du contenant. » (Aidouni 2009)

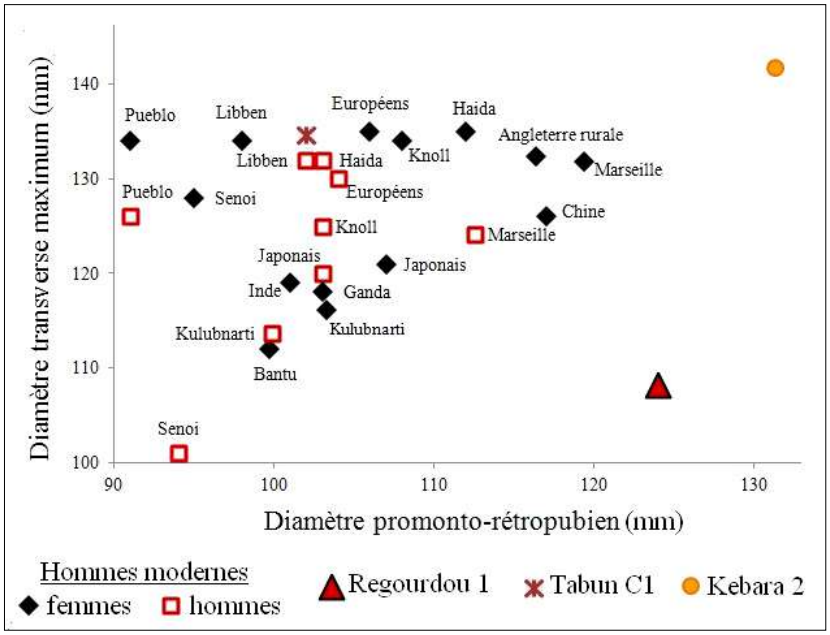


Figure 103. Dimensions du détroit supérieur de 14 populations anatomiquement modernes et de trois individus néandertaliens (Regourdou 1, Tabun C1, Kebara 2).

Les données numériques et bibliographiques sont disponibles dans le Tableau 1, p. 61.

Toutefois, notre analyse du bassin Regourdou 1 permet aussi de discuter de la question du sexe de ce fossile, indépendamment de notre analyse obstétricale. Le sexe de Regourdou 1 n'a jamais été réellement l'objet de débat. À part Vandermeersch et Trinkaus (1995), qui le considèrent comme indéterminé, tous les auteurs l'ayant décrit ou utilisé comme comparaison le considèrent comme un individu mâle (voir p. 104). En l'absence de tout matériel pelvien, ces conclusions peuvent être considérées comme abusives.

Notre analyse morphologique de Regourdou 1 a montré que la grande incisure ischiatique de cet individu est fermée, asymétrique et forme un « U » (Figure 104). Ces caractères sont associés à un sexe masculin (Singh et Potturi 1978 ; Hager 1996 ; Bruzek 2002 ; Walker 2005 ; Takahashi 2006) ; (Figure 105). La morphologie de la partie postérieure du canal pelvien, une fois reconstituée l'articulation sacro-iliaque, est aussi masculine. Mais il semblerait que le coxal gauche de Regourdou 1 présente un arc composé de Genoves (Genovés 1959), caractère associé à un sexe féminin (Figure 105) et confirmé par une longueur spino-sciatique plus courte que la longueur spino-auriculaire (Gaillard 1960) et p. 179.

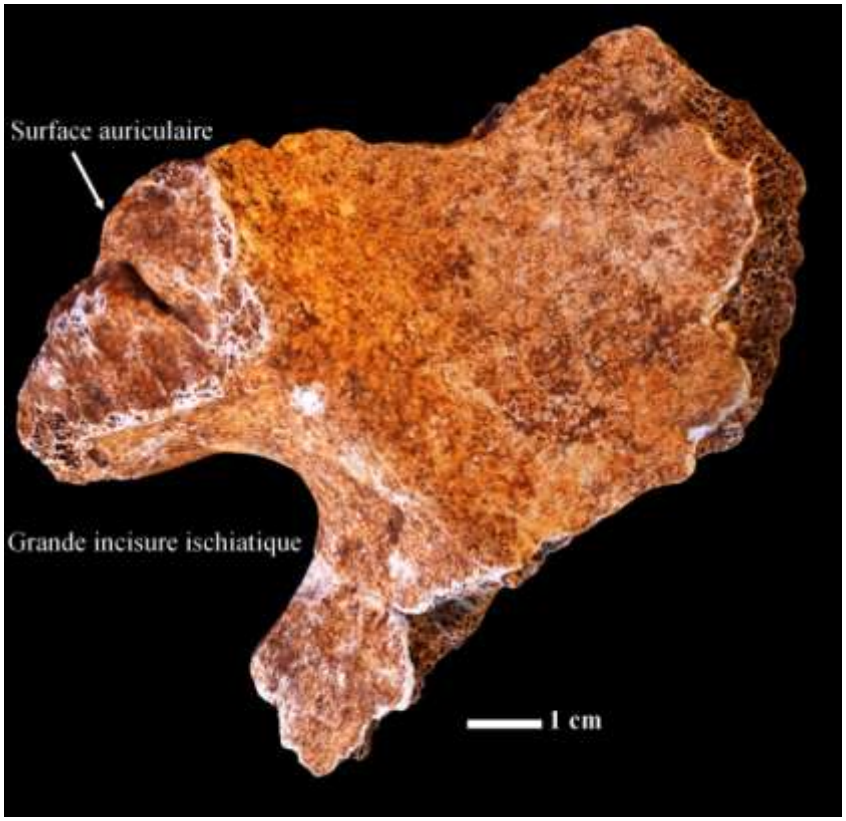


Figure 104. Vue interne de la grande incisure ischiatique gauche de Regourdou 1.

Cette morphologie particulière n'est pas unique chez les individus du Paléolithique moyen. Le bassin d'Arago 44 (Tautavel) présente par exemple une grande incisure ischiatique très masculine mais aussi un arc composé (Marchal 1997). Pelvis 1 (Atapuerca) est déterminé comme masculin par les auteurs (Bonmati *et al.* 2010) mais il nous est impossible de vérifier l'absence d'arc composé sur les photographies publiées. Chez les autres Néandertaliens considérés comme masculin (La-Chapelle-aux-Saints 1, La Ferrassie 1, Kebara 2, entre autres), on remarque que si la grande incisure ischiatique est cohérente avec détermination, la morphologie globale de la région sacro-iliaque est différente de la morphologie moderne, ce qui empêche de conclure à l'absence d'arc composé. La Ferrassie 1 semble en présenter un, mais la restauration du bras inférieur de la grande incisure limite cette observation ; La-Chapelle-aux-Saints 1 présente un arc « composé » très différent de l'arc composé moderne, de même que Feldhofer 1 et dans une moindre mesure, Kebara 2. Cette population présente donc une morphologie particulière de la région sacro-iliaque, ce qui est aussi confirmé par l'analyse des dimensions spino-auriculaire (SA) et spino-sciatique (SS) ; (voir p. 185). Les trois individus inclus dans notre ACP – Kebara 2, Tabun C1 et Regourdou 1, ont une longueur

SS très courte par rapport à la longueur SA. Comme l'arc composé, ce caractère est associé à une morphologie féminine (Gaillard 1960) ; pourtant, ces individus sont considérés comme masculins. Cela met bien en évidence que la détermination du sexe des Néandertaliens à partir de cette région anatomique est difficile.

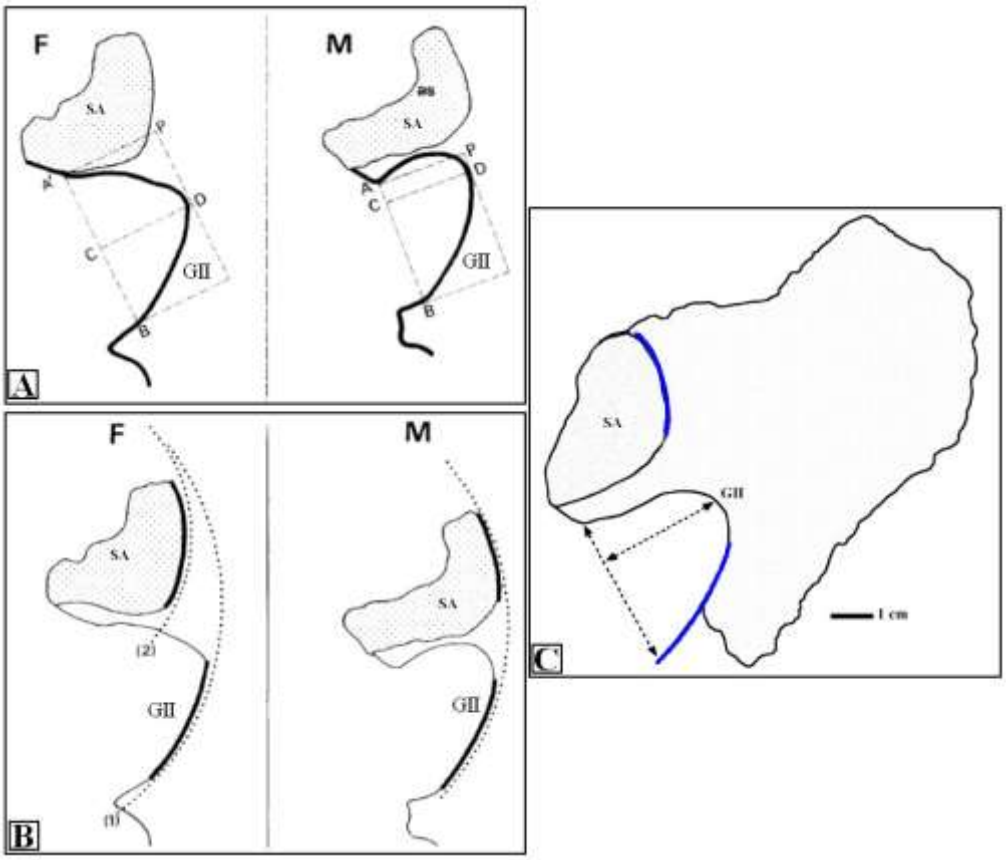


Figure 105. Morphologie de la grande incisure ischiatique de Regourdou 1 (C) comparée avec les morphologies modernes (A et B).

A et B d'après Bruzek, 2002. A : morphologie de la grande incisure ischiatique ; B : arc composé de Genoves. GII : grande inscisure ischiatique ; SA : surface auriculaire ; F : morphologie féminine ; M : morphologie masculine.

Pour expliquer cette morphologie, l'hypothèse d'une différence biomécanique peut être proposée, comme pour la morphologie du pubis. Le fait qu'elle soit commune à d'autres représentants de la lignée humaine du Paléolithique moyen met en évidence la possibilité d'un particularisme locomoteur chez l'Homme anatomiquement moderne, ce qui rejoint la thèse de DelPrête (Del Prête 2000). La nécessité d'engager une étude plus globale sur la morphologie pelvienne, à l'image de ce qui a été proposé par Weaver (Weaver 2002), est flagrante. Cet auteur interprète la morphologie pelvienne néandertalienne comme étant la conséquence

d'une adaptation au froid. Cette interprétation semble être confirmée par l'influence du climat sur le bassin et la grande incisure ischiatique, comme l'ont montré l'étude de populations arctiques et subarctiques (Waxenbaum et Siddall 2011 ; Kurki 2013), chez qui l'incisure est globalement plus asymétrique que chez des populations de climat tempéré (Waxenbaum et Siddall 2011).

Nos analyses obstétricales montrent que la morphologie du canal pelvien de Regourdou 1 se rapproche plus de celle des hommes que des femmes de notre échantillon. Comme elles montrent aussi que la zone de chevauchement entre les deux sexes est importante et que Regourdou 1 est fréquemment au sein même de cette zone, nous ne pouvons pas réellement en tirer de conclusion. Sa petite taille peut être responsable en partie d'une morphologie plus « masculine », notamment dans le cas de la distance probabiliste des dimensions linéaires, où l'influence de la taille est considérable. Lors de nos analyses par morphométrie géométrique, nous avons pu mettre en évidence une nette séparation entre les deux sexes mais la position de Regourdou 1 au milieu des deux groupes, sans être intégré plus à l'un ou à l'autre ne permet pas de discuter son attribution à un sexe plutôt qu'autre.

Lors de l'interprétation de la morphologie pelvienne de cet individu, nous avons vu que, si c'était une femme, son accouchement serait hautement dystocique. Ce dernier résultat pose nettement la question du sexe de Regourdou 1 : si celui-ci est effectivement de sexe féminin, il représente un individu particulier, dont le rétrécissement du détroit inférieur empêche tout accouchement. Chez l'Homme anatomiquement moderne, ce rétrécissement est rare et touche principalement le détroit supérieur (Schaal *et al.* 1998). Dans le cas « Regourdou est un homme », l'accouchement, bien que dystocique, est possible et similaire à l'accouchement moderne. Ce deuxième cas semble donc plus probable. La détermination sexuelle « par analyse obstétricale » a déjà été proposée pour Al288-1 : après avoir montré que son bassin est incompatible avec un accouchement eutocique, Hausler et Schmid (1995) concluent que ce spécimen est masculin. Cette méthode est criticable[41] parce qu'elle repose sur plusieurs estimations (dimensions pelviennes, dimensions fœtales, degré de dimorphisme sexuel) et sur

[41] et critiquée (Tague et Lovejoy 1998).

le postulat qu'un individu qui ne peut pas donner naissance n'est pas féminin, postulat irréaliste au regard de la variabilité pelvienne moderne (Walrath 1997, 2003 ; Kurki 2013).

Lors de notre travail, la connaissance du dimorphisme sexuel chez les Néandertaliens était capitale, afin, entre autres, d'extrapoler une morphologie « féminine » à partir de Regourdou 1. Cela permet ainsi de proposer une interprétation obstétricale d'un bassin potentiellement masculin (Tague 1991). Notre étude n'apporte pas de nouvelles données à ce sujet : les trois individus que nous avons étudiés sont tous les trois différents, sans qu'aucun regroupement entre eux ne soit possible. Nous avons en effet mis en évidence une importante variabilité au sein de l'échantillon néandertalien, sans pouvoir la relier au dimorphisme sexuel. Si Tabun C1 est considérée comme un individu féminin (McCown et Keith 1939) et Kebara 2 comme un individu masculin (Rak et Arensburg 1987), rien dans nos résultats n'infirme ou ne confirme ces hypothèses. Faisant face aux même contraintes de locomotion et d'encéphalisation, nous pouvons proposer l'hypothèse que les Néandertaliens présentaient le même degré de dimorphisme sexuel que les Hommes anatomiquement modernes. Nous rejoignons ici plusieurs auteurs (Tague 1992 ; Lorenzo *et al.* 1998 ; Ponce de León *et al.* 2008) pour qui le dimorphisme sexuel pelvien est homogène au sein du genre *Homo* (voir p. 58). À partir de ce postulat, nous avons appliqué aux dimensions du bassin Regourdou 1 les valeurs du dimorphisme sexuel moderne pour chaque variable, ce qui nous a permis de proposer une « morphologie féminine hypothétique » à l'image de ce qui a été fait pour *Homo erectus* (Walker et Ruff 1993).

Cette méthode a ses limites, car elle est construite sur des postulats difficiles à vérifier, et notamment sur la représentativité du dimorphisme sexuel calculé sur une population par rapport à l'ensemble de l'espèce. Dans notre cas, les valeurs du dimorphisme sexuel pelvien que nous avons calculé sont cohérentes avec celles des autres populations modernes données Tableau 1 (p. 61). Par ailleurs, nous avons aussi vu que ce dimorphisme est variable, dans le temps et l'espace (voir p. 55). Si l'on considère que les Néandertaliens présentent le même degré de dimorphisme sexuel que l'Homme anatomiquement moderne, il faut cependant

garder à l'esprit qu'il a pu être sujet à certaines fluctuations, pendant les 200 000 ans d'évolution de cette population.

C'est dans cette optique que nous avons préféré nous affranchir de l'*individu* Regourdou 1 et nous intéresser plutôt à l'information qu'il porte sur la variabilité morphologique pelvienne néandertalienne. Nous avons voulu dépasser la vision de la paléo-obstétrique comme une simple confrontation entre un spécimen adulte (un bassin) et un spécimen immature (un crâne) en considérant la population néandertalienne, adulte et néonatale, de façon plus globale. Ainsi, le calcul d'individus moyens nous a permis d'obtenir des informations sur l'obstétrique néandertalienne.

V.4.3. Nouvelles données sur les mécaniques obstétricales néandertaliennes

Notre analyse obstétricale a montré que les dimensions du canal pelvien de Regourdou 1 s'inscrivaient dans la variabilité moderne, sauf en ce qui concernait le détroit inférieur. Nous avons pu voir que c'est une caractéristique des trois spécimens néandertaliens de notre étude. Les dimensions fœtales néandertaliennes moyennes étant elles aussi dans la variabilité moderne, nous pouvons considérer que la relation fœto-pelvienne est donc du même ordre chez les Néandertaliens et chez les Hommes anatomiquement modernes, sauf pour le détroit inférieur. L'étude plus précise de la conformation du canal pelvien de Regourdou 1 et de deux individus néandertaliens (un individu consensus et un individu moyen) nous a permis de mettre en évidence des mécaniques obstétricales équivalentes chez Néandertal et chez l'Homme anatomiquement moderne.

Nous avons présenté une estimation de l'erreur de reconstruction et montré qu'une telle erreur est importante dans le cas d'une analyse paléo-obstétricale. Néanmoins, la morphologie générale du canal pelvien, avec notamment l'angulation entre les plans de chaque détroit, est comparable à ce que l'on observe chez l'Homme anatomiquement moderne. La morphologie du bassin intégré dans l'ensemble du squelette étant sensiblement la même, nous pouvons considérer que chez les Néandertaliens comme chez l'Homme moderne, l'axe de la poussée et l'axe principal du plan d'engagement du fœtus ne sont pas concordants. Les forces de réaction

entre la tête fœtale et le bassin maternel qui sont à l'origine des mécaniques obstétricales modernes seraient donc du même ordre chez les Néandertaliens.

Les résultats obtenus à partir de l'analyse de la relation fœto-pelvienne sont plus contrastés. Si la majorité va dans le sens d'une naissance rotationnelle, avec un engagement en oblique et une expulsion en ap/AP (l'axe antéropostérieur de la tête fœtale alignée dans l'axe antéropostérieur de la mère), deux autres hypothèses peuvent être proposées.

La première, construite à partir des dimensions de Regourdou 1, dans le cas « Regourdou 1 est une femme » est celle d'un accouchement trop dystocique, d'une relation céphalo-pelvienne trop disproportionnée pour que la naissance soit possible. Nous avons vu plus haut que c'est probablement un indice sur l'appartenance sexuelle de Regourdou 1. Cette interprétation d'un seul individu, dont le sexe n'est pas connu, ne peut être utilisée comme modèle de l'accouchement néandertalien. C'est la raison pour laquelle nous l'avons complétée avec l'analyse d'individus moyens. De plus, comme le souligne aussi Rosenberg (1992), il est improbable, d'un point de vue démographique, que l'accouchement néandertalien ait été si dystocique.

La seconde est obtenue à partir de l'analyse des dimensions de l'individu consensus néandertalien. En effet, celles-ci mettent en évidence qu'un accouchement sans rotation est possible. Après un engagement en ap/TR (l'axe antéropostérieur de la tête fœtale aligné dans l'axe transverse de la mère), le fœtus peut traverser la cavité et être expulsé dans cette même orientation, soit une hypothèse comparable à celle proposée par Weaver et Hublin (2009). Les conclusions de ces auteurs ont été faites à partir de leur reconstruction de Tabun C1, dont nous avons déjà évoqué certaines limites. Le caractère hyperplatypelloïde du détroit inférieur de cet individu influence la morphologie globale de l'individu consensus que nous avons construit. L'hypothèse d'une naissance non rotationnelle est donc fragilisée. D'autant plus que conclure à l'absence de rotation à partir de l'étude de la relation céphalo-pelvienne est fallacieux. En effet, chez l'Homme anatomiquement moderne, elle n'est pas induite uniquement par le changement de conformation entre les détroits (ce que nous avons appelé l'inversion du rapport « antéropostérieur/transverse »). Elle est aussi due à l'orientation du bassin dans le corps ainsi qu'à la différence de direction entre la poussée utérine et l'axe

d'engagement qui en résulte. Récemment, des auteurs ont proposé que les Néandertaliens présentaient une lordose moins importante que les Hommes anatomiquement modernes, avec pour conséquence un sacrum dont le promontoire est moins incliné (Been *et al.* 2012)[42]. Une telle conformation anatomique impliquerait un plan du détroit supérieur légèrement plus horizontal que le plan moderne. Néanmoins, il subsiste une importante différence entre l'axe de la poussée utérine et l'axe du détroit supérieur (ou d'engagement), ce qui implique une rotation de la tête fœtale à l'entrée du canal pelvien. Même dans le cas de l'individu consensus, un engagement transverse ou oblique est plus probablement suivi d'une rotation de la tête fœtale à l'entrée du détroit moyen, en réaction à la propulsion de celle-ci contre la symphyse pubienne.

Les dimensions du détroit inférieur sont telles que le passage d'un fœtus néandertalien à terme est impossible. La circonférence et les diamètres de ce détroit sont en effet plus petits que les mêmes dimensions prises sur la tête fœtale. Dans le cas de la circonférence, cela n'a pas réellement d'incidence. Le détroit inférieur n'a pas de réelle signification ostéologique dans le sens où le principal obstacle de cette partie du bassin est le plancher pelvien. Considérant que nous avons calculé les circonférences en reliant directement des points de repères ostéologiques et en ne prenant pas en compte les tissus mous, la variable que nous proposons est sans aucun doute plus basse que ne l'est en réalité la circonférence du détroit inférieur physiologique. Il n'en va pas de même pour les diamètres qui, même en faisant abstraction des tissus mous ne sont pas compatibles avec les différents diamètres fœtaux, quelque soit la position de la tête fœtale.

Nous sommes donc ici face à un accouchement hautement dystocique au niveau du détroit inférieur. Néanmoins, nous avons souligné l'importance de se placer dans un contexte dynamique. L'analyse métrique de la relation céphalo-pelvienne apporte des données sur la dystocie mais ne permet pas de rendre compte de la dimension dynamique de l'accouchement.

---

[42] Cette hypothèse n'est pas confortée par la conformation d'autres régions pelviennes, et notamment l'acétabulum (Trinkaus, comm. pers.).

En prenant en compte la nutation du sacrum ou le modelage de la tête fœtale, nous avons pu proposer une vision moins statique et donc plus réaliste de l'accouchement néandertalien.

Bien qu'ils ne proposent pas l'hypothèse d'une mécanique moderne, Weaver et Hublin (2009) mettent aussi en évidence une dystocie au niveau du détroit inférieur, due à la proximité des dimensions fœtales et maternelles. On pourrait donc penser que la dystocie du détroit inférieure caractérise les Néandertaliens, plus qu'elle ne caractérise l'Homme anatomiquement moderne. Toutefois, d'autres interprétations paléo-obstétricale (du bassin Kebara 2) mettent en avant une dystocie du détroit moyen (Abitbol 1996a) plutôt que du détroit inférieur. Ce schéma est plus proche de ce qui est décrit chez l'Homme anatomiquement moderne, pour qui le détroit moyen est désigné comme étant « un piège obstétrical » (Bunim 1957). L'ensemble de ces résultats met en évidence qu'il y a une continuité dans le risque de dystocie entre Néandertal et l'Homme anatomiquement moderne.

Dans le cadre de notre analyse, les données vont majoritairement vers une dystocie du détroit inférieur. Or, nous devons considérer que les faibles dimensions de ce détroit, qui caractérisent nos trois individus pourraient être un artefact. En effet, nous avons vu que la reconstitution de l'articulation sacro-iliaque de Kebara 2 est variable (voir p. 271). Cela peut avoir une incidence sur les dimensions antéropostérieures du détroit inférieur de ce canal pelvien. De la même, Regourdou 1 ayant été reconstruit à partir de cet individu, il faut envisager que la position très avancée de l'apex du sacrum (soit LM4), qui raccourcit considérablement le diamètre sous-sacro-sous-pubien, peut être une conséquence de la morphologie de Kebara 2. Cela a peu d'impact sur nos schémas de mécanique obstétricale, mais cela pondère nos conclusions sur les risques de dystocie au détroit inférieur.

D'autres auteurs (Rosenberg 1988, 1992 ; Bouhallier 2006 ; Ponce de León *et al.* 2008) ont proposé une interprétation similaire de la morphologie pelvienne néandertalienne, avec toutefois des risques de dystocie variés. Globalement, ces conclusions ont été faites à partir de l'analyse de la confrontation céphalo-pelvienne entre un individu adulte et un individu néonatale. La solidité de notre étude tient dans le fait que nous avons proposé l'interprétation de la morphologie pelvienne de plusieurs individus. Nous pouvons proposer aujourd'hui un

schéma général des mécaniques obstétricales néandertaliennes. Comme chez l'Homme moderne (Walrath 2003 ; Bouhallier 2006), ces mécaniques sont sujettes à une certaine variabilité. Par exemple, l'étroitesse du détroit inférieur (avec un petit diamètre bi-ischiatique médian) peut être palliée par un accouchement inter-ischiatique, plutôt qu'anté-ischiatique. Couramment observée dans la population moderne (Bouhallier 2006), ce mode d'expulsion conduirait, chez Regourdou 1, à un accouchement moins dystocique.

La présence de telles mécaniques chez les Néandertaliens est concordante avec les conclusions des derniers travaux effectués sur des représentants plus anciens de la lignée humaine. L'apparition de la naissance rotationnelle précéderait l'encéphalisation importante du genre *Homo* et serait concomitante à l'acquisition de la bipédie, comme le montre de nouvelles analyses du bassin des Australopithèques (Bouhallier *et al.* 2004 ; Bouhallier 2006 ; Berge et Goularas 2010). Ces analyses confirment d'ailleurs les premières hypothèses de Berge et collaborateurs (1991a ; 1993) ou d'Häusler et Schmidt (1995). Dans le genre *Homo*, où l'acquisition de la bipédie est associée à une forte encéphalisation, la majorité des études acceptent aujourd'hui la présence d'une naissance rotationnelle (Arsuaga *et al.* 1999 ; Bouhallier 2006 ; Ponce de León *et al.* 2008). Toutefois, toutes ces réflexions se font au sein du paradigme du paradoxe obstétrical, aujourd'hui controversé. La présence de mécaniques obstétricales de type moderne chez d'autres grands singes (Hirata *et al.* 2011) montre en effet que le dyptique « bipédie + encéphalisation» n'est pas obligatoire pour la mise en place de la naissance rotationnelle.

Récemment, l'hypothèse d'une évolution du paradoxe obstétrical au sein même de l'Homme anatomiquement moderne, en relation avec les changements de régimes alimentaires et de modes de subsistance a été proposée (Wells *et al.* 2012). La mise en place de l'agriculture aurait donné lieu à une diminution des dimensions maternelles et à un grossissement de l'enfant. La transition Mésolithique-Néolithique est effectivement associée à des changements culturels et biologiques (Larsen 1995 ; Richards 2002 ; Piontek 2003 ; Richards *et al.* 2003). Pourtant ni les données issues de la littérature sur la morphologie néonatale néandertalienne [(Coqueugniot 1998 ; Ponce de León *et al.* 2008 ; Gunz *et al.*

2011 ; Frémondière et Marchal 2013), voir p. 86], ni nos résultats sur les dimensions pelviennes néandertaliennes (voir partie IV.3) ne s'accordent avec cette hypothèse. Il est toutefois évident que le paradigme « paradoxe obstétrical » doit évoluer, et notamment avec les nouvelles découvertes en primatologie et en paléoanthropologie (ce paradigme a aujourd'hui plus de 50 ans). La variabilité du dimorphisme sexuel au sein de la population humaine actuelle et au cours du temps (Collier 1993 ; Gonzalez *et al.* 2007 ; Driscoll 2010) est en effet peu compatible avec une vision linéaire de l'évolution obstétricale de l'Homme (Kurki 2007, 2011). Comme l'a montré notre travail, les mécaniques obstétricales modernes peuvent, tout en gardant un schéma général constant, subir certaines variations. Nous avons pu les mettre en évidence dans ce travail, mais il faudrait à présent s'attacher à les comprendre au sein même de notre espèce. Très peu d'analyses obstétricales ont été faites sur les Hommes anatomiquement modernes du Paléolithique et de la transition Mésolithique-Néolithique (à part celle de Wells, *op.cit.*), contrairement à ce qui a été fait sur les autres représentants de la lignée humaine et, de même, nous avons peu de données sur l'obstétrique des chasseurs-cueilleurs actuels. Seule une étude diachronique et diagéographique de ces populations permettrait de confirmer notre hypothèse de mécaniques obstétricales modernes très anciennes.

Nouvelles données sur l'accouchement néandertalien. Implication biologique et comportementale.

L'analyse fonctionnelle du canal pelvien néandertalien nous a permis de mettre en évidence des mécaniques obstétricales de type moderne chez cette population. Nous sommes donc en mesure de proposer une description de l'accouchement néandertalien.

Les données sur la morphologie générale néandertalienne ainsi que sur les périnatals de cette population nous permettent de proposer l'hypothèse de trois présentations possibles du fœtus dans l'utérus maternel : céphalique, podalique et transversale, dans une proportion d'incidence comparable à ce que l'on observe chez l'Homme anatomiquement moderne, avec une nette prédominance de la présentation de l'occiput (ou au sommet). De la même façon, la présence du promontoire et les dimensions du détroit supérieur comparables aux dimensions

modernes favorisent l'hypothèse de six orientations possibles. Le diamètre le plus important du détroit supérieur (chez Regourdou 1 et chez l'individu consensus) est le diamètre oblique, comme chez l'Homme anatomiquement moderne. Nous pensons donc que l'orientation OIGA (Occipital-iliaque gauche antérieure) est plus fréquente (Figure 106).

Chez les Néandertaliens comme chez l'Homme anatomiquement moderne, le fœtus à terme s'engage donc majoritairement la tête la première, l'occipital au contact du pubis gauche. Cet engagement est facilité par une flexion de la tête, mis en route notamment pas la réaction de celle-ci avec la margelle pubienne. L'analyse de la relation fœto-pelvienne ne montre pas de disproportion au niveau du détroit supérieur (Indice de Magnin = 250[43]), mais, comme dans les populations modernes, les conditions d'un accouchement eutocique sont très strictes : non fléchie, la tête fœtale s'engage très difficilement.

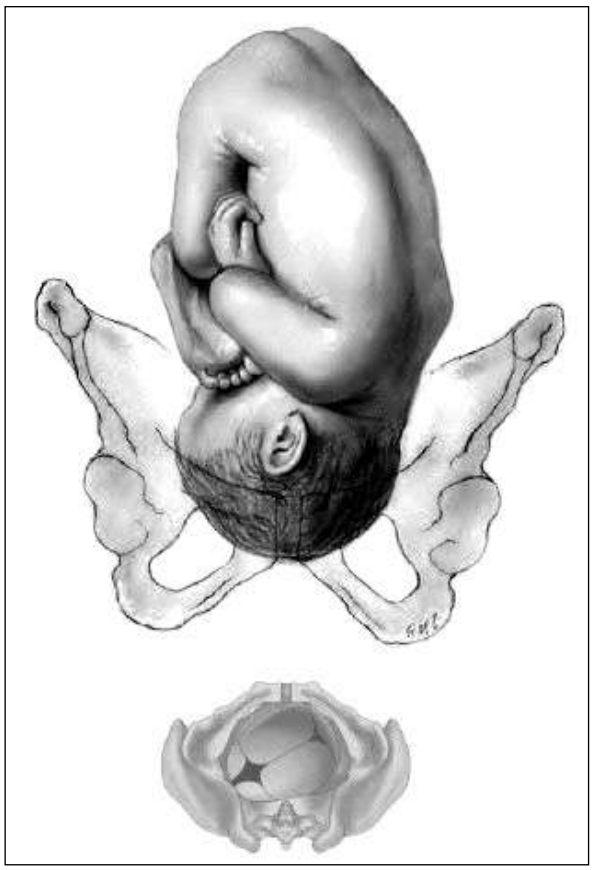


Figure 106. Orientation en OIGA de la tête fœtale dans le bassin maternel.
OIGA : Occipital-iliaque gauche antérieure. Vue inférieure. Cette orientation est plausiblement celle des fœtus néandertaliens, lors de l'engagement. D'après Cunnigham, 2010.

[43] L'indice de Magnin est la somme des diamètres antéropostérieurs et transverse maximums du détroit supérieur. Les obstétriciens considèrent qu'il doit être supérieur à 230 mm pour que l'engagement soit eutocique.

À l'entrée du détroit moyen ou dans la cavité (selon nos modèles), le fœtus subit une rotation et aligne son diamètre antéropostérieur avec l'axe antéropostérieur de sa mère, l'occipital au contact de la symphyse pubienne. Engagé dans la cavité pelvienne, le fœtus se défléchit afin de contourner le pubis, ce qui facilite son expulsion. Sa sortie se fait de telle sorte que l'occiput est antérieur et le visage postérieur, par rapport au corps de la mère.

Nous ne pouvons discuter que de la dystocie mécanique d'origine osseuse. Nous avons vu que, comme chez l'Homme anatomiquement moderne, le risque d'engagement est important. Ce risque est plus variable au niveau du détroit moyen. Le détroit inférieur montre une morphologie particulière et le risque de dystocie y est important, comparable voire supérieur au risque moderne. Lors de l'accouchement moderne, la sortie des épaules représente aussi un moment crucial de l'expulsion. Chez les Néandertaliens, les clavicules sont plus longues que chez l'Homme anatomiquement moderne (Voisin 2004a, 2004b). La reconstruction de l'enfant de Mezmaiskaya (Ponce de León *et al.* 2008) conduit à une estimation du diamètre bi-acromial néonatal de 120 mm, comparable à la valeur modernes (Trevathan et Rosenberg 2000). Comme chez l'Homme anatomiquement moderne, la naissance rotationnelle ne concerne pas seulement le passage de la tête fœtale à travers le bassin maternel mais aussi le passage des épaules. Nous pouvons donc penser que cette population était tout autant que la nôtre sujette à la dystocie des épaules.

Durée de gestation

Nous avons vu que l'Homme moderne a une place particulière au sein des Primates pour ce qui est de la durée de la gestation (Harvey et Clutton-Brock 1985 ; Plunkett *et al.* 2011). Chez les Néandertaliens, l'hypothèse « *gestation length* » (pour durée de gestation) a été proposée par Trinkaus (Trinkaus 1984, 1985b, 1986) pour expliquer la morphologie particulière du pubis néandertalien, selon lui associée à un fœtus à terme de plus grandes dimensions. La description d'un bassin néandertalien complet, Kebara 2 (Rak et Arensburg 1987) a eu pour conséquence une modification complète de nombreuses théories liées à l'obstétrique néandertalienne. Ainsi, l'hypothèse de la « *gestation length* » s'est avérée obsolète et son auteur s'est rétracté (Rosenberg 1988).

La durée de gestation d'une espèce est principalement liée au poids du fœtus à terme et à sa capacité crânienne (Sacher et Staffeldt 1974 ; Sacher 1975 ; Western 1979 ; Martin 1996). Trinkaus avait ainsi proposé cette hypothèse considérant que pour une espèce dont la capacité crânienne adulte est de 1400 cm3, la durée de gestation « attendue » aurait été de 12 mois (Trinkaus 1985b). Chez l'Homme moderne, en raison d'un poids important du fœtus à terme (DeSilva 2011), et peut-être pour des raisons énergétiques (Dunsworth *et al.* 2011 ; Dunsworth *et al.* 2012), la gestation humaine est « raccourcie » par rapport à celles des Primates. Aujourd'hui, les données sur les dimensions fœtales néandertaliennes (Ponce de León *et al.* 2008 ; Gunz *et al.* 2011) nous permettent de penser que la durée de gestation néandertalienne est équivalente à la durée moderne, soit 9 mois.

Chez l'Homme moderne, cette durée est variable, soumise notamment à l'influence saisonnière et à la disponibilité de la nourriture (Lawoyin et Oyediran 1992 ; Lawoyin 1993 ; Murray *et al.* 2000 ; Stotland *et al.* 2006 ; Chodick *et al.* 2007 ; Tu *et al.* 2012). Les données actuelle sur l'alimentation néandertalienne montrent que les Néandertaliens avaient un régime principalement carnivore, avec des moyens de subsistance moins sensibles aux changements saisonniers (Bocherens *et al.* 1999 ; Drucker et Bocherens 2004 ; Bocherens *et al.* 2005 ; Richards *et al.* 2008 ; Bocherens 2011 ; Gaudzinski-Windheuser et Roebreoeks 2011). Mais ce régime alimentaire hautement calorique pourrait ne pas être adapté aux besoins d'une femme enceinte et de son fœtus (Hockett 2012). Un régime plus varié, et donc plus soumis aux périodes de carences pourrait avoir eu une influence sur la variabilité de la durée de la gestation. Certains indicateurs, comme les hypoplasies de l'émail, confirmeraient l'existence de carences saisonnières (Ogilvie *et al.* 1989 ; Guatelli-Steinberg *et al.* 2004) et d'un régime varié chez Néandertal, avec notamment l'apport de végétaux, serait commun à l'ensemble de la population (Henry *et al.* 2011 ; Hardy *et al.* 2012).

Conséquences de l'accouchement

Nous pouvons émettre l'hypothèse que les conséquences de cet événement sur le corps et la vie de la mère ou de l'enfant sont du même ordre que ce que nous avons présenté pour les Hommes anatomiquement modernes (voir p. 46). Bien que l'incidence exacte de la mortalité

maternelle ou néonatale chez les chasseurs-cueilleurs soit difficile à connaître, nous avons vu qu'il est possible de l'évaluer à environ 2000 morts pour 100 000 naissances en ce qui concerne la mortalité maternelle (Aberle 1934 ; Jusot 1996). Dans le cas des populations paléolithiques, certaines estimations proposent une mortalité maximum de 0,05 cas par an (Sørensen 2011). Vu nos résultats sur l'obstétrique néandertalienne, nous pouvons envisager une mortalité maternelle du même ordre de grandeur.

L'évaluation de la mortalité néonatale est plus délicate. Elle peut en effet être directe (l'enfant meurt suite à l'accouchement ou en raison d'une pathologie) ou indirecte (l'enfant meurt à la suite de la mort de sa mère). Dans le cas de l'analyse des conséquences de l'accouchement sur une population donnée, nous nous intéressons surtout à la mortalité néonatale directe. Récemment, des données ont été proposées par Wells sur la mortalité néonatales chez quatre groupes de chasseurs-cueilleurs, issus de quatre sites archéologiques (Wells *et al.* 2012). En faisant le rapport entre le nombre d'individus total et le nombre de périnatal, il estime que la mortalité néonatale des chasseurs-cueilleurs est généralement comprise entre 0 à 6,5%. Malheureusement, en archéologie [sauf dans de très exceptionnels cas (Arriaza *et al.* 1988 ; Cruz et Codinha 2010 ; Sayer et Dickinson 2013)], rien ne permet de distinguer la mortalité directe de la mortalité indirecte. Seules des données ethnographiques directes permettraient d'obtenir ces données, sans que nous ayons alors la certitude de pouvoir les appliquer aux Néandertaliens.

Dans la continuité de ces interprétations, nos résultats peuvent aussi, dans une moindre mesure, apporter des informations sur la démographie néandertalienne. On estime parfois à environ 12 000 individus la population néandertalienne (Sørensen 2011), avec une densité de population variant entre 0,005 et 0,5 p/km² (Wobst 1976 ; Sørensen 2011). C'est donc une petite population. La disparition des Néandertaliens pourrait être due à une baisse de leur démographie, mais l'influence de l'accouchement sur cette baisse est difficile à évaluer. Si pour certains auteurs, elles pourraient être mises en cause (Abitbol 1996a), nous n'avons pas de raison de penser que les mortalités maternelle et néonatale puissent avoir été à l'origine d'une baisse démographique assez importante pour provoquer l'extinction de cette population. D'autres hypothèses doivent être considérées, comme, par exemple, une compétition perdue à

l'arrivée des Hommes anatomiquement moderne (Tattersall 2007 ; Banks *et al.* 2008) *vs.* (Stewart 2004).

Nous avons vu que l'accouchement, sa complexité et sa durée peuvent avoir d'autres répercussions que la mort sur le corps maternel (voir p. 46). Les atteintes au niveau du plancher pelvien, particulièrement sur les sphincters et le périnée, sont nombreuses, et elles peuvent générer des gênes importantes dans la vie quotidienne. Chez les femmes ayant une activité physique régulière et importante, la deuxième étape du travail peut s'avérer plus longue et plus difficile que chez les autres femmes (Kruger *et al.* 2005 ; Kruger *et al.* 2006 ; Li *et al.* 2008), notamment en raison de la puissance de la musculature (dite hypertrophiée). Or, les données actuelles montrent que les Néandertaliens avaient une importante activité physique (Kuhn et Stiner 2006 ; Pearson *et al.* 2008), avec notamment une forte mobilité (Trinkaus 2007 ; Trinkaus et Ruff 2012 ; Shaw et Stock 2013). Appliquant le principe d'actualisme, nous proposons l'hypothèse que les Néandertaliennes pouvait être sujettes à un allongement de la deuxième étape du travail, par rapport à la moyenne occidentale actuelle et donc subissaient autant (voire plus) les atteintes sur les tissus mous du plancher pelvien.

Lors de l'interprétation des conséquences de l'accouchement sur le corps féminin, il est important de considérer que les données des XXe et XXIe siècles sont biaisées par les progrès médicaux. En effet, si l'apport de la péridurale ou de la césarienne a eu un effet très positif sur la survie de la mère et de l'enfant, l'effet iatrogène de l'obstétrique moderne est aujourd'hui très discuté. La position en décubitus dorsal, l'utilisation massive de l'épisiotomie et la méconnaissance des manœuvres d'extraction classiques (Malinas et Favier 1979) sont considérées comme étant les principales responsables de certains des troubles que nous avons présentés : descente d'organe, incontinence, douleurs (Lede *et al.* 1996 ; Who 1996 ; De Gasquet 2009 ; Le Ray *et al.* 2009). Le retour à des positions et des pratiques plus traditionnelles montre aujourd'hui la nécessité de mieux prendre en compte la physiologie de la parturiente ; ainsi, lors d'expulsion en position accroupie ou « à quatre pattes », l'incidence d'épisiotomie et des atteintes sur le plancher pelvien est diminuée de façon conséquente (Racinet 2005 ; Brément *et al.* 2007 ; De Gasquet 2007 ; Paternotte *et al.* 2012). De la

même façon, la nutation, dont les conséquences sont extrêmement bénéfiques puisqu'elle diminue la durée de l'effort expulsif, est grandement favorisée par une position d'expulsion accroupie (Racinet 2005).

Des travaux ont montré que, dans les populations traditionnelles, la position en décubitus dorsal (ou lithotomie) dans laquelle la parturiente est allongée sur le dos, n'est jamais utilisée (Gupta et Nikodem 2000 ; Selin et Stone 2009). On considère qu'en France, elle s'est imposée à partir du XVIIe siècle, pour faciliter la surveillance du travail (Racinet 2005). Nous pouvons envisager que les positions privilégiées par les Néandertaliennes lors de l'accouchement et plus particulièrement lors de l'expulsion finale sont des positions de type accroupies, assises ou à « quatre pattes ». Dans ces conditions, les conséquences de l'expulsion sur le plancher pelvien sont de moindre importance que ce que nous observons aujourd'hui dans le monde occidental. Il est très important de rappeler que nous parlons ici de morbidité maternelle, et non pas de mortalité, plus importante au Paléolithique moyen qu'au XXIe siècle.

Notre travail nous a permis de discuter de la biologie même de l'accouchement néandertalien, de ses mécanismes et de ses conséquences physiologiques. Il nous offre aussi l'occasion de proposer de nouvelles hypothèses sur le comportement de cette population. En effet, dans l'accouchement moderne, la sortie du fœtus le visage orienté postérieurement à sa mère et les risques de dystocie, notamment au niveau des épaules, pourraient être à l'origine du développement de pratiques rituelles et médicales autour de l'accouchement [(Trevathan 1988) et p. 45]. On parle ainsi d'accompagnement à la parturiente « obligatoire » (Trevathan 2010, 2011). Dans 90% des sociétés humaines, cet accompagnement est systématique (Rosenberg et Trevathan 2002). D'un point de vue anthropologique, les difficultés de l'obstétrique moderne participent ainsi à la maintenance de la cohésion du groupe [Hassan 1981, cité par (O'donnel 2004)]. Les pratiques rituelles et médicales, le soutien psychologique de la parturiente et de la jeune mère sont des caractéristiques de la naissance humaine moderne (Beausang 2000 ; O'donnel 2004 ; Selin et Stone 2009).

La mise en évidence d'une naissance néandertalienne présentant les mêmes caractéristiques que la naissance moderne (un accouchement long aux mécaniques complexes,

une expulsion du fœtus en postérieur, un risque important de dystocie des épaules), nous pousse à considérer l'éventualité d'un accompagnement à la naissance comparable à celui qu'on observe au sein de la population des Hommes anatomiquement modernes. Cette hypothèse, déjà abordée (Rosenberg 1992 ; Rosenberg et Trevathan 2001, 2002), est aujourd'hui étayée par nos résultats. L'existence d'une culture moustérienne n'est plus controversée aujourd'hui, tant sont nombreuses les preuves de l'humanité et la complexité culturelle de cette population (Maureille et Vandermeersch 2007). C'est une population organisée, dont l'abstraction et la conscience de la mort sont bien développées, dont les représentants ont une forte notion de groupe [comme le prouvent certains spécimens pathologiques, dont la survie ne peut être due qu'à une forte solidarité au sein du groupe (Trinkaus 2007)].

Face à l'événement crucial qu'est la naissance, il n'est pas absurde de penser que cette population a réagi comme le font les populations humaines actuelles. Si on parle déjà d'obstétrique préhistorique pour les Hommes anatomiquement modernes du Paléolithique supérieur et du Néolithique (Beausang 2000 ; O'donnel 2004 ; Stefanovic 2006), nous pouvons aujourd'hui élargir ce terme à la population néandertalienne, comme nous le permettent nos résultats sur les caractéristiques biologiques de cet événement au sein de cette population, et proposer l'existence d'une maïeutique[44] néandertalienne.

[44] La maïeutique [du grec μαιευτική (*maieutikê*) accoucher] est l'art de l'accouchement.

Conclusions et perspectives

Notre travail de recherche avait pour objectif de proposer de nouvelles hypothèses sur l'obstétrique néandertalienne. Pour cela, nous nous sommes attachée à la description, à la reconstruction et à l'analyse d'un nouveau bassin néandertalien, Regourdou 1.

La description de la ceinture pelvienne de Regourdou 1 a été faite grâce à la comparaison morphologique et métrique de notre spécimen avec un échantillon composé d'Hommes anatomiquement modernes et de dix individus néandertaliens.

Nous avons mis en évidence que la déviation médiale de l'épine iliaque antéro-inférieure, l'étroitesse de la région rétro-acétabulaire, l'amincissement de la branche supérieure du pubis et la profondeur du sillon sous-acétabulaire distinguent l'os coxal de Regourdou 1 d'un coxal anatomiquement moderne et confirment son appartenance aux Néandertaliens. Ces traits ont déjà été décrits sur les autres spécimens de notre analyse et leur récurrence permet aujourd'hui de les considérer comme caractéristiques de la morphologie néandertalienne. En revanche, nous avons montré que leur observation chez d'autres représentants de la lignée humaine (*Homo erectus* ou *Homo heidelbergensis*, par exemple) empêche de les désigner comme des autapomorphies.

Le sacrum de Regourdou 1 ne présente pas de traits morphologiques permettant de le distinguer d'un sacrum moderne, à l'instar des autres sacrums néandertaliens décrits à ce jour. Par contre, nos observations et nos analyses ont montré qu'une forte asymétrie le caractérise. Celle-ci asymétrie est directionnelle, surement en lien avec l'activité et un déséquilibre de charge. Elle est aussi un nouvel argument pour la latéralisation de Regourdou 1 comme droitier.

L'analyse de la distance probabiliste et l'analyse en composantes principales doublement centrée ont permis de replacer Regourdou 1 au sein des variabilités moderne et néandertalienne. Nous avons pu mettre en évidence que si, globalement, aucune donnée prise indépendamment des autres, ne permet de différencier Regourdou 1 de la population

moderne, l'analyse multivariée le distingue nettement. Cette propriété est commune à tous les individus néandertaliens : la combinaison de dimensions particulières et de traits particuliers caractérise cette population. Cette observation, déjà faite sur le crâne ou les membres inférieurs, peut aujourd'hui être étendue à la ceinture pelvienne.

La reconstruction du bassin Regourdou 1 a été faite suivant un protocole précis. L'étude comparative de trois méthodes d'estimation des données manquantes (l'algorithme EM, la régression multiple et l'analyse par thin-plate spline) a permis de mettre en évidence l'influence de paramètres tels que le nombre de données manquantes, la taille ou l'appartenance taxinomique de l'échantillon de référence et de sélectionner la méthode la mieux adaptée à notre problématique. C'est la première étude de ce type conduite sur la ceinture pelvienne et nos résultats nous permettent de proposer une méthodologie de reconstruction détaillée, appliquée ici à Regourdou 1 mais qui peut facilement s'adapter à d'autres spécimens, fossiles ou actuels.

Finalement, Regourdou 1 a été reconstruit par thin-plate spline, à partir de Kebara 2. Cette reconstruction virtuelle est la quatrième proposée à ce jour pour un individu néandertalien.

L'analyse du canal pelvien de Regourdou 1 a montré que celui-ci présente un détroit supérieur allongé antéropostérieurement et un très petit détroit inférieur. Le faible volume de la partie inférieure de la cavité pelvienne caractérise les trois spécimens néandertaliens (Regourdou 1, Tabun C1 et Kebara 2), tout comme le raccourcissement antéropostérieur des détroits moyens et inférieurs. Ce sont les deux seuls caractères communs à ces trois individus, par ailleurs très différents. Notre étude a aussi mis en évidence que l'importante dimension transverse du détroit inférieur de Tabun C1 est probablement un biais de reconstruction et qu'une expulsion du fœtus transversalement n'est pas envisageable.

En effet, la comparaison de ces trois spécimens ainsi que d'individus moyen et consensus[45] avec la morphologie moderne a montré que les Néandertaliens présentent des caractéristiques morphologiques qui, chez l'Homme moderne, sont associées à des mécaniques obstétricales de type « flexion-rotation-extension ». La morphologie du détroit supérieur est telle qu'une flexion préliminaire de la tête fœtale est nécessaire ; l'orientation de ce détroit et l'angle entre la poussée utérine et l'axe d'engagement induisent une rotation du fœtus ; la morphologie en segment de tore du canal pelvien nécessite une extension de celui-ci, avant l'expulsion. Nous avons donc mis en évidence que la naissance néandertalienne était rotationnelle et présentait des mécanismes de type moderne. De plus, l'analyse de la relation céphalo-pelvienne a montré que cette naissance rotationnelle s'accompagne chez les Néandertaliens, d'un risque de dystocie non négligeable, au niveau des épines sciatiques et du détroit inférieur.

Ce risque, associé à la complexité des mécaniques obstétricales rotationnelles, font de la naissance néandertalienne un événement aussi difficile que la naissance moderne. Nous proposons l'hypothèse que cette naissance avait des conséquences comparables à celles de l'accouchement moderne, tant sur le plan de la mortalité que de la morbidité. En nous basant sur cette complexité ainsi que sur les dernières données concernant le développement socioculturel des Néandertaliens, nous proposons aussi l'hypothèse d'un accompagnement de la parturiente. Chez les Néandertaliens, comme chez l'Homme moderne, la naissance rotationnelle pourrait avoir été associée à des pratiques maïeuticiennes.

Dans ce travail, nous avons proposé une analyse morpho-fonctionnelle du bassin néandertalien, à partir de Regourdou 1. La description de cette ceinture pelvienne et sa reconstruction ont permis, grâce à une analyse morphofonctionnelle, de mieux caractériser les spécificités du canal obstétrical néandertalien et de prouver l'existence de mécaniques obstétricales de type moderne chez cette population, il y a 80 000 ans. Cette description d'un événement physiologique et biologique majeur nous offre l'occasion d'envisager cette

[45] Le premier construit par le calcul d'une moyenne arithmétique, le second par analyse Procuste.

population sous un angle bio-culturel et d'aborder de nouvelles questions, à la fois sur sa biologie et sur son comportement.

D'un point de vue méthodologique, plusieurs perspectives s'ouvrent à nous. Notre protocole de reconstruction pourrait être perfectionné par l'utilisation de semi-landmarks. Ces points de repère présentent l'avantage de pouvoir être pris sur une surface plane ou courbe, ce qui permettrait d'obtenir un meilleur rendu au niveau de la symphyse pubienne et de l'aile iliaque. De même, certains aspects de notre protocole pourraient être repensés, comme la reconstitution de l'articulation sacro-iliaque ou la prise en compte de tous les fragments épars des coxaux de Regourdou 1. Par ailleurs, il serait intéressant de réfléchir à un protocole pouvant mieux prendre en compte la variabilité néandertalienne. Chaque région anatomique pourrait par exemple être reconstruite à l'aide d'un ou plusieurs spécimens présentant cette même zone. Nous avons aussi prévu d'intégrer un échantillon subarctique à notre échantillon de référence (Collection de Point Hope, *American Museum of Natural History*, à New York), ce qui nous permettrait de pallier le problème de la reconstruction interspécifique en utilisant des individus modernes dont les caractéristiques corporelles sont plus proches des Néandertaliens

Dans un second temps, nous voudrions appliquer notre protocole à d'autres spécimens néandertaliens afin d'augmenter l'effectif d'individus pouvant se prêter à une analyse obstétricale. Reconstruire de la même façon les spécimens Tabun C1, Feldhofer 1, la Chapelle-aux-Saints 1 ou La Ferrassie 1 permettrait d'homogénéiser nos résultats et d'améliorer nos études comparatives. Nous espérons aussi pouvoir intégrer à notre échantillon des données issues de précédentes reconstructions, comme celle de Ponce de León et collaborateurs (, 2008 #219) ou de Chapman (, 2010 #778). De la même façon, l'ajout du spécimen quasi complet de Las Palomas (Walker *et al.* 2011b ; Walker *et al.* 2011c) permettrait d'enrichir notre corpus.

Parallèlement, l'impression en trois dimensions (par stéréolithographie) des restes de Regourdou 1 et de notre reconstruction permettra de sécuriser ces restes, de disposer de reproductions en nombre important pour des études ultérieures et de mieux valoriser ce

spécimen et le site dont il est issu. En effet, Regourdou 1 est intégré à un important projet de « dissémination scientifique » (ou vulgarisation) ; l'apport des nouvelles technologies pourrait être l'occasion de faire découvrir au grand public à la fois les récentes avancées en paléoanthropologie et les nouvelles données sur la biologie des Néandertaliens, notamment sur un événement aussi capital que l'accouchement.

Dans ce travail, nous avons interprété la morphologie de Regourdou 1 à l'aune de la fonction de parturition. Or, nous avons bien montré au cours de notre étude la relation d'interdépendance existant entre cette fonction, la morphologie pelvienne et la locomotion. Nous voudrions compléter notre analyse en nous intéressant à la locomotion. Dans le cas de Regourdou 1, de telles études nous permettraient peut-être de mieux comprendre les causes et les conséquences de l'asymétrie du sacrum de ce fossile.

Nos résultats pourraient également ouvrir une réflexion sur la naissance au Paléolithique. Le premier volet de ce travail est biologique. Aux nouvelles hypothèses sur l'obstétrique néandertalienne, nous ajouterons des réflexions sur l'accouchement d'autres spécimens du Paléolithique (appartenant aux espèces *Homo erectus s.l.*, *Homo heidelbergensis* ou *Homo sapiens*), grâce notamment à la reconstruction de nouveaux spécimens. Le second volet serait plus ethnologique. À l'aide de données ethnographiques sur les pratiques maïeuticiennes de populations modernes non industrialisées, nous avancerions certaines hypothèses sur l'existence de pratiques liées à la naissance chez les populations du passé. Cela nous permettrait d'enrichir la paléo-obstétrique d'un nouvel axe d'étude, portant sur ce qu'on pourrait appeler la maïeutique préhistorique.

Bibliographie

ABERLE S.B.D. 1934 - Maternal mortality among the pueblos. *American Journal of Physical Anthropology*, 18, p. 431-435.

ABITBOL M.M. 1987a - Evolution of the lumbosacral angle. *American Journal of Physical Anthropology*, 72, p. 361-372.

ABITBOL M.M. 1987b - Evolution of the sacrum in hominoids. *American Journal of Physical Anthropology*, 74, p. 65-81.

ABITBOL M.M. 1987c - Obstetrics and posture in pelvic anatomy. *Journal of Human Evolution*, 16, p. 243-255.

ABITBOL M.M. 1988 - Evolution of the ischial spine and of the pelvic floor in the hominoidea. *American Journal of Physical Anthropology*, 75, p. 53-67.

ABITBOL M.M. 1991 - Ontogeny and evolution of pelvic diameters in anthropoid primates and in *Australopithecus afarensis* (AL 288-1). *American Journal of Physical Anthropology*, 85, p. 135-148.

ABITBOL M.M. 1995a - Lateral view of *Australopithecus afarensis*: primitive aspects of bipedal positional behavior in the earliest hominids. *Journal of Human Evolution*, 28, p. 211-229.

ABITBOL M.M. 1995b - Reconstruction of the STS 14 (*Australopithecus africanus*) pelvis. *American Journal of Physical Anthropology*, 96, p. 143-158.

ABITBOL M.M. 1995c - Speculation on posture, locomotion, energy consumption, and blood flow in early hominids. *Gait & Posture*, 3, p. 29-37.

ABITBOL M.M. 1996a - *Birth and human evolution. Anatomical and obstetrical mechanics in primates*. Wesport: Bergin and Garvey, 256 p.

ABITBOL M.M. 1996b - The shape of female pelvis. Contributing factors. *Journal of Reproductive Medicine*, 41, p. 242-250.

ADAM C., ECKSTEIN F., MILZ S. et PUTZ R. 1998 - The distribution of cartilage thickness within the joints of the lower limb of elderly individuals. *Journal of Anatomy*, 193, p. 203-214.

ADAMS D.C., ROHLF F.J. et SLICE D.E. 2004 - Geometric morphometrics: ten years of progress following the 'revolution'. *Italian Journal of Zoology*, 71, p. 5-16.

ADAMS S.S., EBERHARD-GRAN M. et ESKILD A. 2012 - Fear of childbirth and duration of labour: a study of 2206 women with intended vaginal delivery. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*, 119, p. 1238-1246.

AIDOUNI K. 2009 - *La pelvimétrie : prescription et valeur prédictive* (inédit). Nancy: Université Henri Poincaré, 2009. 78p. Master: Maieutique.

AIELLO L.C. et DEAN M.C. 1994 - *An introduction to human evolutionary anatomy*. London: Academic Press Inc., 596 p.

AIELLO L.C. et WELLS J.C.K. 2002 - Energetics and the evolution of the genus Homo. *Annual Review of Anthropology*, 31, p. 323-338.

AIELLO L.C. et WHEELER P. 1995 - The expensive-tissue hypothesis: the brain and the digestive system in Human and Primate evolution. *Current Anthropology*, 36, p. 199-221.

AIKEN L.S. et XWEST S.G. 1991 - *Multiple regression: testing and interpreting interactions*. London: SAGE publications, 224 p.

ALBERMAN E., ROMAN E., PHAROAH P.O.D. et CHAMBERLAIN G. 1980 - Birth weight before and after a spontaneous abortion. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*, 87, p. 275-280.

ALDRICH C.J., D'ANTONA D., SPENCER J.A.D., WYATT J.S., PEEBLES D.M., DELPY D.T. et REYNOLDS E.O.R. 1995 - The effect of maternal pushing on fetal cerebral oxygenation and blood volume during the second stage of labour. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*, 102, p. 448-453.

AL-EISA E., EGAN D., DELUZIO K. et WASSERSUG R. 2006 - Effects of pelvic skeletal asymmetry on trunk movement: three-dimensional analysis in healthy individuals versus patients with mechanical low back pain. *Spine*, 31, p. E71-E79.

AL-EISA E., EGAN D. et WASSERSUG R. 2004 - Fluctuating asymmetry and low back pain. *Evolution and Human Behavior*, 25, p. 31-37.

ALGOVIK M. 2008 - *Genetic and epidemiological studies of dystocia - difficult labour* (inédit). Stockholm: Karolinsla Institutet, 2008. 47p. Doctorat: Department of Clinical Science, Intervention and Technology.

ALI R.S. et MACLAUGHLIN S.M. 1991 - Sex identification from the auricular surface of the adult human ilium. *International Journal of Osteoarchaeology*, 1, p. 57-61.

ALICIOGLU B., KARTAL O., GURBUZ H. et SUT N. 2008 - Symphysis pubis distance in adults: a retrospective computed tomography study. *Surgical and radiologic anatomy*, 30, p. 153-157.

ALLEN J.A. 1877 - The influence of physical conditions in the genesis of species. *Radical review*, 1, p. 108-140.

AMARENCO G., KERDRAON J., ADBA M.A. et LACROIX P. 1991 - Neuropathie périnéale d'étirement. Ses relations avec l'incontinence urinaire d'effort de la femme. *Journal de gynecologie obstetrique et biologie de la reproduction*, 20, p. 501-505.

ANDERSON C.M. 1989 - Neandertal pelves and gestation length: hypotheses and holism in Paleoanthropology. *American Anthropologist*, 91, p. 327-340.

ANGEL J.L. 1976 - Colonial to modern skeletal change in the U.S.A. *American Journal of Physical Anthropology*, 45, p. 723-735.

ANONYME 2006 *Rapport du Comité national d'experts sur la mortalité maternelle (CNEMM)* - Institut de veille sanitaire, Paris, 149 p.

ARENSBURG B. 1991 - From Sapiens to Neandertals, rethinking the Middle East. *American Journal of Physical Anthropology*, S12, p. 44.

ARENSBURG B., BAR YOSEF O., CHECH M., GOLDBERG P., LAVILLE H., MEIGNEN L., RAK Y., TCHERNOV E., TILLIER A.-M. et VANDERMEERSCH B. 1985 - Une sépulture néandertalienne dans la grotte de Kébara (Israël). *C.R. de l'Académie des Sciences, Paris*, 300, série II, p. 227-230.

ARENSBURG B. et BELFER-COHEN A. 1998 - Sapiens and Neandertals. Rethinking the Levantine Middle Paleolithic Hominids. *In*: AKAZAWA T., AOKI K. et BAR-YOSEF O. (eds.), *Neandertals and Modern Humans in Western Asia*. New-York: Plenum Press, p. 311-322.

ARRIAZA B., ALLISON M. et GERSZTEN E. 1988 - Maternal mortality in pre-Columbian Indians of Arica, Chile. *American Journal of Physical Anthropology*, 77, p. 35-41.

ARSUAGA J.-L. et CARRETERO J.-M. 1994 - Multivariate analysis of the sexual dimorphism of the hip bone in a modern Human population and in early Hominids. *American Journal of Physical Anthropology*, p. 241-257.

ARSUAGA J.-L., CARRETERO J.-M., LORENZO C., GRACIA A., MARTINEZ I., BERMUDEZ DE CASTRO J.M. et CARBONELL E. 1997 - Size variation in middle Pleistocene Humans. *Science*, 277, p. 1086-1088.

ARSUAGA J.-L., LORENZO C., CARRETERO J.-M., GRACIA A., MARTINEZ I., GARCIA N., BERMUDEZ DE CASTRO J.-M. et CARBONELL E. 1999 - A complete human pelvis from the Middle Pleistocene of Spain. *Nature*, p. 255-258.

ASHTON-MILLER J.A. et DELANCEY J.O.L. 2009 - On the biomechanics of vaginal birth and common sequelae. *Annual Review of Biomedical Engineering*, 11, p. 163-176.

AY L., KRUITHOF C., BAKKER R., STEEGERS E., WITTEMAN J., MOLL H., HOFMAN A., MACKENBACH J., HOKKEN-KOELEGA A. et JADDOE V. 2009 - Maternal anthropometrics are associated with fetal size in different periods of pregnancy and at birth. The Generation R Study. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*, 116, p. 953-963.

BADII M., SHIN S., TORREGGIANI W.C., JANKOVIC B., GUSTAFSON P., MUNK P.L. et ESDAILE J.M. 2003 - Pelvic bone asymmetry in 323 study participants receiving abdominal CT Scans. *Spine*, 28, p. 1335-1339.

BAHLMANN F., MERZ E., MACCHIELLA D. et WEBER G. 1993 - Sonographische Darstellung des Symphysenspaltes zur Beurteilung eines Symphysenschadens in der Schwangerschaft und post partum. *Zeitschrift für Geburtshilfe und Perinatologie*, 197, p. 27-30.

BAILEY S. 2006 - Beyond shovel-shaped incisors: neandertal dental morphology in a comparative context. *Periodicum Biologorum*, 108, p. 253-267.

BAKER H., THIND I., FRANK O., DEANGELIS B., CATERINI H. et LOURIA D. 1977 - Vitamin levels in low-birth-weight newborn infants and their mothers. *American journal of obstetrics and gynecology*, 129, p. 521-524.

BALZEAU A., CREVECOEUR I., ROUGIER H., FROMENT A., GILISSEN E., GRIMAUD-HERVÉ D., MENNECIER P. et SEMAL P. 2010 - Applications of

imaging methodologies to paleoanthropology: beneficial results relating to the preservation, management and development of collections. *Comptes Rendus Palevol*, 9, p. 265-275.

BALZEAU A., GRIMAUD-HERVE D. et JACOB T. 2005 - Internal cranial features of the Mojokerto child fossil (East Java, Indonesia). *Journal of Human Evolution*, 48, p. 535-553.

BALZEAU A., GRIMAUD-HERVÉ D., DÉTROIT F., HOLLOWAY R.L., COMBÈS B. et PRIMA S. 2013 - First description of the Cro-Magnon 1 endocast and study of brain variation and evolution in anatomically modern *Homo sapiens*. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 25, p. 1-18

BANKS W.E., D'ERRICO F., PETERSON A.T., KAGEYAMA M., SIMA A. et SANCHEZ-GONI M.-F. 2008 - Neanderthal extinction by competitive exclusion. *PLoS ONE*, 3, p. e3972.

BAPTIST M., SULTANA F. et FARZANA F. 2008 - Sex differences in sacra in the Punjab region. *Biomedica*, 24.

BARBERA A.F., IMANI F., BECKER T., LEZOTTE D.C. et HOBBINS J.C. 2009 - Anatomic relationship between the pubic symphysis and ischial spines and its clinical significance in the assessment of fetal head engagement and station during labor. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*, p. 320-325.

BARKAT A., BELGHITI H., JANAH K., CHAOUI A., KHARBACH A., OUAALINE M., AGUENAOU H. et LAMDOUAR BOUAZZAOUI N. 2011 - Analyse de la composition corporelle de la femme enceinte marocaine et corrélations avec le poids des nouveau-nés. *Biomatec Echo*, 2, p. 70-75.

BARRIEL V. et TILLIER A.-M. 2002 - L'enfant de Mezmaiskaya (Caucase) examiné dans une double perspective paléogénétique et paléoanthropologique. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris.*, 14 (n.s.), p. 163-191.

BARTOLI L. 2010 - Les rituels de naissance dans les cultures traditionnelles. *In*: FRYDMAN R. et SZEJER M. (eds.), *La Naissance, histoire, cultures et pratiques d'aujourd'hui*. Paris: Albin Michel, p. 415-422.

BEAUSANG E. 2000 - Childbirth in Prehistory: an introduction. *European Journal of Archaeology*, 3, p. 69-87.

BEAUVAL C., BISMUTH T., BRUXELLES L., MALLYE J.B. et BERTHET A.L. 2007 - LaChapelle-aux-Saints.Un siècle de recherche. *In Actes du XXVIe congrès préhistorique de France, Avignon, 21–25 septembre 2004*. vol. 2, p. 197–214.

BECKER I., WOODLEY S.J. et STRINGER M.D. 2010 - The adult human pubic symphysis: a systematic review. *Journal of Anatomy*, 217, p. 475-487.

BEEN E., GÓMEZ-OLIVENCIA A. et KRAMER P.A. 2012 - Lumbar lordosis of extinct hominins. *American Journal of Physical Anthropology*, 147, p. 64-77.

BELCASTRO M.G., RASTELLI E. et MARIOTTI V. 2008 - Variation of the degree of sacral vertebral body fusion in adulthood in two European modern skeletal collections. *American Journal of Physical Anthropology*, 135, p. 149-160.

BENAZZI S., BOOKSTEIN F.L., STRAIT D.S. et WEBER G.W. 2011 - A new OH5 reconstruction with an assessment of its uncertainty. *Journal of Human Evolution*, 61, p. 75-88.

BENAZZI S., ORLANDI M. et GRUPPIONI G. 2009a - Technical note: Virtual reconstruction of a fragmentary clavicle. *American Journal of Physical Anthropology*, 138, p. 507-514.

BENAZZI S., STANSFIELD E., MILANI C. et GRUPPIONI G. 2009b - Geometric morphometric methods for three-dimensional virtual reconstruction of a fragmented cranium: the case of Angelo Poliziano. *International Journal of Legal Medicine*, 123, p. 333-344.

BENDERLIOGLU Z. et NELSON R.J. 2004 - Season of birth and fluctuating asymmetry. *American Journal of Human Biology*, 16, p. 298-310.

BENDICH A. 2001 - Micronutrients in women's health and immune function. *Nutrition*, 17, p. 858-867.

BERGE C. 1980 - *Biométrie du bassin des primates : applications aux primates fossiles de Madagascar et aux anciens Hominidés.* (inédit). Paris: Université Paris VII, 1980. 160p.: Anthropologie biologique.

BERGE C. 1984 - Multivariate analysis of the pelvis for hominids and other extant primates: Implications for the locomotion and systematics of the different species of australopithecines. *Journal of Human Evolution*, 13, p. 555-562.

BERGE C. 1991a - Interprétations fonctionnelles des dimensions de la cavité pelvienne de *Australopithecus afarensis* (A.L. 288-1). *Zeitschrift fur Morphologie und Anthropologie*, 78, p. 321-330.

BERGE C. 1991b - Quelle est la signification fonctionnelle du pelvis très large de *Australopithecus afarensis* (A.L. 288-1)? *In*: COPPENS Y. et SENUT B. (eds.), *Origine(s) de la Bipédie chez les Hominidés.* Paris: CNRS, p. 113-119.

BERGE C. 1993 - *L'évolution de la hanche et du pelvis des Hominidés. Bipédie, parturition, croissance, allométrie.* Paris: C.N.R.S., 128 p.

BERGE C. 1994 - How did the australopithecines walk? A biomechanical study of the hip and thigh of *Australopithecus afarensis*. *Journal of Human Evolution*, 26, p. 259-273.

BERGE C. 2003 - L'évolution du bassin humain : approche fonctionnelle. *In*: SUZANNE C., REBATO E. et CHIARELLI B. (eds.), *Anthropologie biologique. Evolution et Biologie Humaine.* Bruxelles: De Broeck et Larcier, p. 225-231.

BERGE C. et GOMMERY D. 1999 - Le sacrum de Sterkfontein Sts 14 (*Australopithecus africanus*): nouvelles données sur la croissance et sur l'âge osseux du spécimen (hommage à R. Broom et J.T. Robinson). *C.R. de l'Académie des Sciences, Paris*, 329, p. 227-232.

BERGE C. et GOULARAS D. 2010 - A new reconstruction of Sts 14 pelvis (*Australopithecus africanus*) from computed tomography and three-dimensional modeling techniques. *Journal of Human Evolution*, p. 262-272.

BERGE C., ORBAN-SEGEBARTH R. et SCHMID P. 1984 - Obstetrical interpretation of the australopithecine pelvic cavity. *Journal of Human Evolution*, 13, p. 573-587.

BERGE C. et PONGE J.-F. 1983 - Les caractéristiques du bassin des Australopithèques (*A. robustus*, *A. africanus* et *A. afarensis*) sont-elles liées à une bipédie de type humain ? *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 10, p. 335-353.

BERGER L.R., DE RUITER D.J., CHURCHILL S.E., SCHMID P., CARLSON K.J., DIRKS P.H.G.M. et KIBII J.M. 2010 - *Australopithecus sediba*: a new species of Homo-like Australopith from South Africa. *Science*, 328, p. 195-204.

BIERRY G., LE MINOR J.-M. et SCHMITTBUHL M. 2010 - Oval in Males and triangular in females ? A quantitative evaluation of sexual dimorphism in the human obturator foramen. *American Journal of Physical Anthropology*, 41, p. 626-631.

BJÖRKLUND K., LINDGREN P.G., BERGSTRÖM S. et ULMSTEN U. 1997 - Sonographic assessment of symphyseal joint distention intra partum. *Acta Obstetricia et Gynecologica Scandinavica*, 76, p. 227-232.

BLUMENBERG B. 1983 - The Evolution of the Advanced Hominid Brain. *Current Anthropology*, 24, p. 589-623.

BO T.H., DYSVIK B. et JONASSEN I. 2004 - LSimpute: accurate estimation of missing values in microarray data with least squares methods. *Nucleic Acid Research*, 32, p. e34.

BOCHERENS H. 2011 - Diet and ecology of Neanderthals: implications from C and N isotopes. *In*: CONARD N. J. et RICHTER J. (eds.), *Neanderthal Lifeways, Subsistence and Technology. One Hundred Fifty Years of Neanderthal Study*. Springer, p. 61-71.

BOCHERENS H., BILLIOU D., MARIOTTI A., PATOU-MATHIS M.N., OTTE M., BONJEAN D. et TOUSSAINT M. 1999 - Palaeoenvironmental and Palaeodietary Implications of Isotopic Biogeochemistry of Last Interglacial Neanderthal and Mammal Bones in Scladina Cave (Belgium). *Journal of Archaeological Science*, 26, p. 599-607.

BOCHERENS H., DRUCKER D.E.G., BILLIOU D., PATOU-MATHIS M.N. et VANDERMEERSCH B. 2005 - Isotopic evidence for diet and subsistence pattern of the Saint-Césaire I Neanderthal: review and use of a multi-source mixing model. *Journal of Human Evolution*, 49, p. 71-87.

BONIFAY E. 1965a - La grotte du Regourdou (Montignac, Dordogne). Stratigraphie et industrie lithique moustérienne. *L'Anthropologie*, 68, p. 49-64.

BONIFAY E. 1965b - Un ensemble rituel moustérien à la grotte du Régourdou. *In Actes du IVème Congrès de l'UISPP*. vol. 2. Rome, p. 136-140.

BONIFAY E. 2008 - Le site du Regourdou (Montignac-sur-Vézère, Dordogne) et le problème de la signification des sépultures néandretaliennes. *Bulletin de la Société d'Etude et de Recherches Préhistoriques des Eyzies*, 57, p. 25-31.

BONIFAY E. et VANDERMEERSCH B. 1962 - Dépôts rituels d'ossements d'ours dans le gisement moustérien du Régourdou (Montignac, Dordogne). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, p. 1635-1636.

BONIFAY E., VANDERMEERSCH B., COUTURE C. et PANATTONI R. 2007 - *La sépulture néandertalienne du Regourdou.* Imprimerie France Quercy, 16 p.

BONIFAY M.-F. 2008 - Importance de la population d'Ours bruns de Régourdou. *Bulletin de la Société d'Etude et de Recherches Préhistoriques des Eyzies*, 57, p. 14-24.

BONMATI A., GÓMEZ-OLIVENCIA A., ARSUAGA J.-L., CARRETERO J.-M., GRACIA A., MARTINEZ I., LORENZO C., BEMUDEZ DE CASTRO J.M. et CARBONELL E. 2010 - Middle Pleistocene lower back and pelvis from an aged human individual from the Sima de los Huesos site, Spain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107, p. 18386-18391.

BONNEAU N.M., BOUHALLIER J., SIMONIS C., BAYLAC M., GAGEY O. et TARDIEU C. 2012 - Technical note: Shape variability induced by reassembly of human pelvic bones. *American Journal of Physical Anthropology*, 148, p. 139-147.

BOOKSTEIN F.L. 1991a - *Morphometric tools for landmark data: Geometry and biology.* New York: Cambridge University press, 435 p.

BOOKSTEIN F.L. 1991b *Thin-plate splines and the atlas problem for biomedical images* - Center for Human growth, University of Michigan, Ann Arbor, 17 p.

BORELL U. et FERNSTRÖM I. 1957 - The movements at the sacro-iliac joints and their importance to changes in the pelvic dimensions during parturition. *Acta Obstetricia et Gynecologica Scandinavica*, 36, p. 42-57.

BORKOWSKI W. et MIELNICZUK H. 2008 - The influence of social and health factors including pregnancy weight gain rate and pre-pregnancy body mass on low birth weight of the infant. *Ginekologia Polska*, 79, p. 415-421.

BOUHALLIER J. 2006 - *Evolution de la fonction obstetricale chez les hominoides : Analyse morphometrique tridimensionnelle de la cavite pelvienne chez les especes actuelles et fossiles.* (inédit). Paris: Museum National d'Histoire Naturelle, 2006. 233p. Doctorat: Paléontologie Humaine.

BOUHALLIER J. et BERGE C. 2006 - Analyse morphologique et fonctionnelle du pelvis des primates Catarrhiniens : conséquences pour l'obstétrique. *Comptes Rendus Palevol*, p. 551-560.

BOUHALLIER J., BERGE C. et PENIN X. 2004 - Analyse Procuste de la cavité pelvienne des Australopithèques (AL 288, Sts 14), des humains et des chimpanzés : conséquences obstétricales. *Comptes Rendus Palevol*, 3, p. 295-304.

BOULAY C., TARDIEU C., BÉNAIM C., HECQUET J., MARTY C., PRAT-PRADAL D., LEGAYE J., DUVAL-BEAUPÈRE G. et PÉLISSIER J. 2006 - Three-dimensional study of pelvic asymmetry on anatomical specimens and its clinical perspectives. *Journal of Anatomy*, 208, p. 21-33.

BOULE M. 1912 - L'homme fossile de La Chapelle-aux-Saints. *Annales de paléontologie*, 7, p. 21-56,85-192.

BOURRILLON A. et BENOIST G. 2011 - *Abrégés des connaissances et pratiques en pédiatire*. Paris: Elsevier/Masson, 833 p.

BOUVIER-COLLE M.-H. 2007 - Epidémiologie de la mortalité maternelle en France, fréquence et caractéristiques. *Réanimation*, 16, p. 358-365.

BRÄUER G. 1988 - Ostéometrie. *In*: KNUSSMANN R. (ed.) *Anthropologie. Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen. Begründet von Rudolf Martin.* vol. 1, part 1. Stuttgart: G. Fischer Verlag, p. 160-231.

BRÉMENT S., MOSSAN S., BELERY A. et RACINET C. 2007 - Delivery in lateral position. Randomized clinical trial comparing the maternal positions in lateral position and dorsal position for the second stage of labour. *Gynecologie Obstetrique Fertilité*, 35, p. 637-644.

BRESENHAM J. 1993 - Real virtuality: stereoLithography - rapid prototyping in 3D. *In*: WHITTON M. C. (ed.) *Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. Anaheim, CA, p. 377-378.

BROOKE R. 1924 - The sacro iliac joint. *Journal of Anatomy*, 58, p. 299-305.

BROOKS A.A., JOHNSON M.R., STEER P.J., PAWSON M.E. et ABDALLA H.I. 1995 - Birth weight: nature or nurture? *Early Human Development*, 42, p. 29-35.

BROOM R. et ROBINSON J.T. 1950 - Notes on the pelves of the fossil ape-men. *American Journal of Physical Anthropology*, 8, p. 489-494.

BROWN C.M., ARBOUR J.H. et JACKSON D.A. 2012 - Testing of the effect of missing data estimation and distribution in morphometric multivariate ata analyses. *Systematic Biology*, 61, p. 941-954.

BROWN F., HARRIS J., LEAKEY R. et WALKER A. 1985 - Early *Homo erectus* skeleton from west Lake Turkana, Kenya. *Nature*, 316, p. 788-792.

BROWN S., GARTLAND D., DONATH S. et MACARTHUR C. 2011 - Effects of prolonged second stage, method of birth, timing of caesarean section and other obstetric risk factors on postnatal urinary incontinence: an Australian nulliparous cohort study. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*, 118, p. 991-1000.

BRUNER E. 2007 - Cranial shape and size variation in human evolution: structural and functional perspectives. *Child's Nervous System*, 23, p. 1357-1365.

BRUNER E. 2009 - New tools and old perspectives in the management of the fossil resources. *Journal of Anthropological Sciences*, p. 227-228.

BRUNER E., MANZI G. et ARSUAGA J.L. 2003 - Encephalization and allometric trajectories in the genus Homo: Evidence from the Neandertal and modern lineages. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100, p. 15335-15340.

BRUZEK J. 1991 - *Fiabilité des procédés de détermination du sexe à partir de l'os coxal. Implications à l'étude du dimorphisme sexuel de l'homme fossile.* (inédit). Paris:

Museum National d'Histoire Naturelle, 1991. Doctorat: Institut de Paléontologie Humaine.

BRUZEK J. 2002 - A Method for Visual Determination of Sex, Using the Human Hip Bone. *American Journal of Physical Anthropology*, p. 157-168.

BRUZEK J., CASTEX D. et MAJO T. 1996 - Évaluation des caractères morphologiques de la face sacro-pelvienne de l'os coxal. Proposition d'une nouvelle méthode de diagnose sexuelle. *Bulletin de la Société royale Belge d'Anthropologie et de Préhistoire*, 8, p. 491-502.

BRUZEK J. et FEREMBACH D. 1992 - Fiabilité de la méthode visuelle de détermination du sexe à partir du bassin, proposée par le "Groupe de Travail d'Anthropologues européens" application à l'os coxal. *Istratto s'al archivio per l'Anthropologia et etnologica Litno*, 72, p. 146-161.

BRUZEK J., SCHMITT A. et MURAIL P. 2005 - Identification biologique individuelle en paléoanthropologie. Détermination du sexe et estimation de l'âge au décès à partir du squelette. *In*: DUTOUR O., HUBLIN J.-J. et VANDERMEERSCH B. (eds.), *Objets et méthodes en paléoanthropologie*. Paris: Comité des Travaux Historiques et Scientifiques, p. 217-246.

BUCHER H.U. 2011 - Poids ou degré de maturation ? Une vieille controverse de la néonatologie refait surface «grâce» aux DRG. *Forum Médical Suisse*, 11, p. 973-974.

BUCK S. 2011 - The Evolutionary history of the modern birth mechanism: looking at skeletal and cultural adaptations. *Totem: The University of Western Ontario Journal of Anthropology*, 19, p. 81-92.

BUNIM L.A. 1957 - Pelvic Dystocia: a correlation of pelvic type, method of delivery, and end results in a pelvic-abnormality clinic. *Obstetrics & Gynecology*, 10, p. 487-492.

BUSS C., ENTRINGER S., REYES J.F., CHICZ-DEMET A., SANDMAN C.A., WAFFARN F. et WADHWA P.D. 2009 - The maternal cortisol awakening response in human pregnancy is associated with the length of gestation. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 201, p. 398.e1-398.e8.

BUSSEY M.D. 2010 - Does the demand for asymmetric functional lower body postures in lateral sports relate to structural asymmetry of the pelvis? *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13, p. 360-364.

BUTHIAU D. 2003 - Computerized tomography pelvimetry: recent advances. *Gynécologie Obstétrique et Fertilité*, 31, p. 465-470.

BUTTIN R., ZARA F., SHARIAT B., REDARCE T. et GRANGÉ G. 2011 - Biomechanical Simulation of the Fetal descent without Imposed Theoretical Trajectory. *REFIG (Revue Electronique Francophone d'Informatique Graphique)*, 5, p. 1-12.

CALDWELL W. et MOLOY H. 1933 - Anatomical variations in the female pelvis and their effects in labor with a suggested classification. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 26, p. 479-505.

CAMERON N. 2002 - *Human growth and development*. Amsterdam: Academic Press, 600 p.

CARDINI A. et ELTON S. 2008 - Does the skull carry a phylogenetic signal? Evolution and modularity in the guenons. *Biological Journal of the Linnean Society*, 93, p. 813-83.

CARRETERO J.M., ARSUAGA J.L. et LORENZO C. 1997 - Clavicles, scapulae and humeri from the Sima de los Huesos site (Sierra de Atapuerca, Spain). *Journal of Human Evolution*, 33, p. 357-408.

CARTER M.E. et LOEWI G. 1962 - Anatomical changes in normal sacro-iliac joints during childhood and comparison with the changes in still's disease. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 21, p. 121-134.

CARTRON I. et CASTEX D. 2006 - L'occupation d'un ancien îlot de l'estuaire de la Gironde : du temple antique à la chapelle Saint-Siméon (Jau-Dignac et Loirac). *Aquitania*, XII, p. 253-282.

CASTEX D. 1988 - *Etude morphologique comparée de l'os coxal chez les* H. erectus *et les* H. sapiens *archaïque. Comparaison avec les Néandertaliens et les premiers Hommes modernes.* (inédit). Bordeaux: Université Bordeaux 1, 1988. 100p. DEA: Anthropologie biologique.

CAVANHIÉ N. 2010 - L'Ours qui a vu l'Homme ? Étude archéozoologique et taphonomique du site paléolithique moyen de Regourdou (Montignac, Dordogne, France). *Paléo*, 21, p. 39-63.

CHAPMAN T., MOISEEV F., SHOLUKHA V., LOURYAN S., ROOZE M., SEMAL P. et VAN SINT JAN S. 2010 - Virtual reconstruction of the Neandertal lower limbs with an estimation of hamstring muscle moment arms. *Comptes Rendus Palevol*, 9, p. 445-454.

CHITTY L.S., ALTMAN D.G., HENDERSON A. et CAMPBELL S. 1994 - Charts of fetal size: 2. Head measurements. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*, 101, p. 35-43.

CHO F., HANARI K., SUZUKI M.T. et HONJO S. 1985 - Relationship between fetal position and stillbirth in the Cynomolgus monkeys (macaca fascicularis): retrospective analysis. *Journal of Medical Primatology*, 14, p. 169-174.

CHODICK G., SHALEV V., GOREN I. et INSKIP P.D. 2007 - Seasonality in Birth Weight in Israel: New Evidence Suggests Several Global Patterns and Different Etiologies. *Annals of Epidemiology*, 17, p. 440-446.

CHUMNIJARAKIJ T., NUCHPRAYOON T., CHITINAND S., ONTHUAM Y., QUAMKUL N., DUSITSIN N., VIPUTSIRI O.A., P. C., LIMPONGSANURAK S. et SUKOMOL P. 1992 - Maternal risk factors for low birth weight newborn in Thailand. *Journal of the medical association of Thailand*, 75, p. 445-452.

CHURCHILL S.E. 1998 - Cold adaptation, heterochrony, and Neanderthals. *Evolutionary Anthropology*, 7, p. 46-61.

CHURCHILL S.E. et FORMICOLA V. 1997 - A Case of marked milateral asymmetry in the upper limbs of an upper Palaeolithic male from Barma Grande (Liguria), Italy. *International Journal of Osteoarchaeology*, p. 18-38.

CIBERT C., FERMON Y., VALLOD D. et MEUNIER F.J. 1999 - Morphological screening of carp Cyprinus carpio: relationship between morphology and fillet yield. *Aquatic Living Resources*, 12, p. 1-10.

CLEUVENOT E. et HOUËT F. 1993 - Proposition de nouvelles équations d'estimation de stature applicables pour un sexe indéterminé et basées sur les échantillons de Trotter et Gleser. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris.*, n.s., p. 245-255.

COLEMAN W.H. 1969 - Sex differences in the growth of the human bony pelvis. *American Journal of Physical Anthropology*, 31, p. 125-151.

COLLIER S. 1993 - Sexual dimorphism in relation to big-game hunting and economy in modern human populations. *American Journal of Physical Anthropology*, 91, p. 485-504.

COLOMBET P., BAYLE P., CREVECOEUR I., FERRIÉ J.-G. et MAUREILLE B. 2012 - New Mousterian neonates from the South-West of France (Saint-Césaire, Charente-Maritime). *In*: HUBLIN J.-J. et AL. (eds.), *Annual meeting of the European Society for the study of Human Evolution*. Bordeaux, p. 57.

CONROY G.C. et VANNIER M.W. 1987 - Dental development of the Taung skull from computerized tomography. 329, p. 625-627.

CONROY G.C., WEBER G.W., SEIDLER H., RECHEIS W., ZUR NEDDEN D. et MARIAM J.H. 2000 - Endocranial capacity of the Bodo cranium determined from three-dimensional computed tomography. *American Journal of Physical Anthropology*, 113, p. 111-118.

COOKE R.W.I., LUCAS A., YUDKIN P.L.N. et PRYSE-DAVIES J. 1977 - Head circumference as an index of brain weight in the fetus and newborn. *Early Human Development*, 1, p. 145-149.

COQUEUGNIOT H. 1994 - Equations d'estimation de la capacité crânienne chez l'enfant : Application paléoanthropologique. *Anthropologie*, 32, p. 243-250.

COQUEUGNIOT H. 1998 - *Variabilité morphologique de la tête osseuse au cours de l'ontogénèse. L'exemple des enfants de l'espèce* Homo sapiens. (inédit). Bordeaux: Université Bordeaux 1, 1998. 324p. Doctorat: Anthropologie.

COQUEUGNIOT H. et HUBLIN J.-J. 2007 - Endocranial volume and brain growth in immature Neandertals. *Periodicum Biologorum*, 109, p. 379-385.

COQUEUGNIOT H. et HUBLIN J.-J. 2012 - Age-related changes of digital endocranial volume during human ontogeny: Results from an osteological reference collection. *American Journal of Physical Anthropology*, 147, p. 312-318.

COQUEUGNIOT H., HUBLIN J.-J., VEILLON F., HOUËT F. et JACOB T. 2004 - Early brain growth in *Homo erectus* and implications for cognitive ability. *Nature*, p. 299-302.

CORNILLON P.-A. et MATZNER-LOBER E. 2007 - *Régression : théorie et applications*. Paris: Springer, 303 p.

CORREIA H., BALSEIRO S. et ADE AREIA M. 2005 - Sexual dimorphism in the human pelvis: testing a new hypothesis. *HOMO*, p. 153-160.

COUETTE S. et WHITE J. 2010 - 3D geometric morphometrics and missing-data. Can extant taxa give clues for the analysis of fossil primates? *Comptes Rendus Palevol*, 9, p. 423-433.

COUTURE C. 2008 - Les caractères anatomiques du squelette néandertalien Régourdou 1. *Bulletin de la Société d'Etude et de Recherches Préhistoriques des Eyzies*, 57, p. 32-40.

CRESPI B. 2011 - The evolutionary biology of child health. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278, p. 1441-1449.

CRUZ C.B. et CODINHA S. 2010 - Death of mother and child due to dystocia in 19th century Portugal. *International Journal of Osteoarchaeology*, 20, p. 491-496.

CUNNINGHAM F.G., LEVENO K.J., BLOOM S., L., HAUTH J.C., ROUSE D.J. et SPONG C.Y. 2010 - *Williams Obstetrics*. 23rd Edition édition: McGraw-Hill Medical, 1404 p.

CURRAT M. et EXCOFFIER L. 2004 - Modern Humans Did Not Admix with Neanderthals during Their Range Expansion into Europe. *Plos Biology*, 2, p. e41.

CURRAT M. et EXCOFFIER L. 2011 - Strong reproductive isolation between humans and Neanderthals inferred from observed patterns of introgression. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108, p. 15129-15134.

CUVIER G. 1800 - *Leçons d'anatomie comparée, volume 1.* paris: Baudoin, 698 p.

DALSTRA M. et HUISKES R. 1995 - Load transfer across the pelvic bone. *Journal of Biomechanics*, 28, p. 715-724.

DAMANY G. 1898 - L'adaptation de l'Homme. *Journal de l'anatomie et de la physiologie.*, XII, p. 169.

DART R.A. 1949 - Innominate fragments of *Australopithecus prometheus*. *American Journal of Physical Anthropology*, 7, p. 301-334.

DART R.A. 1958 - A further adolescent australopithecine ilium from Makapansgat. *American Journal of Physical Anthropology*, 16, p. 473-479.

DAUBER W. 2007 - *Lexique illustré d'anatomie FENEIS*. Paris: Flammarion, 596 p.

DAUDIN J.-J., ROBIN S. et VUILLET C. 1999 - *Statistiques inférentielle : idées, démarches, exemples.* Rennes: Presses Universitaires de Rennes, 185 p.

DAVIVONGS V. 1963 - The pelvic girdle of the Australian aborigine; sex differences and sex determination. *American Journal of Physical Anthropology*, 21, p. 443-455.

DAY M.H. 1971 - Postcranial remains of *Homo erectus* from Bed IV, Olduvai Gorge, Tanzania. *Nature*, 232, p. 383-387.

DAY M.H. 1973 - Locomotor features of the lower limb in hominids. *Symposia of the Zoological Society of London*, 33, p. 29-51.

DAY M.H. 1982 - The *Homo erectus* pelvis : punctuation or gradualism. *In*: DE LUMLEY H. (ed.) *L'*Homo erectus *et la place de l'Homme de Tautavel parmi les Hominidés fossiles*. Paris: Editions du CNRS, p. 411-421.

DAY M.H. et MOLLESON T.I. 1973 - The Trinil femora. *In*: DAY M. H. (ed.) *Human Evolution*. Londres: Taylor & Francis, LTD, p. 127-154.

DE GASQUET B. 2007 - Position maternelle pour l'accouchement. *In*: SCHAAL J. P. (ed.) *Mecanique et Technique Obstétricale*. Montpellier: Sauramps Medical, p. 297-313.

DE GASQUET B. 2009 - *Bien-être et maternité*. Paris: Editions Albin Michel, 374 p.

DE GROOTE I. 2011 - The Neanderthal lower arm. *Journal of Human Evolution*, 61, p. 396-410.

DE LUMLEY M.-A. 1972 - Les Néandertaliens de la grotte de l'Hortus (Valflaunes, Hérault). *In*: DE LUMLEY H. (ed.) *La Grotte de l'Hortus*. Marseille: Université de Provence, p. 375-385.

DEAN M., STRINGER C. et BROMAGE T. 1986 - Age at death of the Neanderthal child from Devil's Tower, Gibraltar and the implications for studies of general growth and development in Neanderthals. *American Journal of Physical Anthropology*, 70, p. 301-309.

DEL PRÊTE A. 2000 - *La diaphyse fémorale dans le genre Homo : variations morphologiques et implications fonctionnelles*. (inédit). Bordeaux: Université Bordeaux 1, 2000. 343p.: Anthropologie.

DELEON V.B. 2007 - Fluctuating asymmetry and stress in a medieval Nubian population. *American Journal of Physical Anthropology*, 132, p. 520-534.

DELPECH F. 1996 - L'environnement animal des Moustériens Quina du Périgord. *Paléo*, 8, p. 31-46.

DEMPSTER A.P., LAIRD N.M. et RUBIN D.B. 1977 - Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 39, p. 1-38.

DERRY D.E. 1923 - On the sexual and racial characters of the human ilium. *Journal of Anatomy*, 58, p. 71-83.

DESILVA J.M. 2011 - A shift toward birthing relatively large infants early in human evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108, p. 1022-1027.

DESILVA J.M. et LESNIK J.J. 2008 - Brain size at birth throughout human evolution: a new method for estimating neonatal brain size in hominins. *Journal of Human Evolution*, 55, p. 1064-1074.

DESMIDT C. 2011 - *Décubitus dorsal versus décubitus latéral durant la 2ème phase du travail* (inédit). Paris: Faculté de médecine de Paris, 2011. 76p. Mémoire: Ecole de sages-femmes de Baudelocque.

DI CINTIO E., PARAZZINI F., CHATENOUD L., SURACE M., BENZI G., ZANCONATO G. et LA VECCHIA C. 2001 - Dietary factors and risk of spontaneous abortion. *European journal of obstetrics, gynecology, and reproductive biology*, 95, p. 132-136.

DIARRA B. 1997 - *Influence des acides gras oméga-3 sur la durée de la gestation et sur les caractéristiques anthropométriques du nouveau-né* (inédit). Québec: Université Laval, 1997. 84p.: Faculté de médecine.

DIETZ H.P. et WILSON P.D. 2005 - Childbirth and pelvic floor trauma. *Best Practice & Research Clinical Obstetrics & Gynaecology, Female Pelvic Floor Dysfunction*, 19, p. 913-924.

D'INCAU E., COUTURE C. et MAUREILLE B. 2012 - Human tooth wear in the past and the present: tribological mechanisms, scoring systems, dental and skeletal compensations. *Archives of Oral Biology*, 57, p. 214-229.

DOBAK W., KERSHAW T., FOGLE D., LINDSAY M., WESTDAHL C., ICKOVICS J. et RISING S.S. 2006 - Effect of coital frequency, sexually transmitted infections (STI's), and number of partners during pregnancy on length of gestation, birthweight, and intrauterine growth restriction (IUGR). *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 195, p. S221.

DODEEN H.M. 2003 - Effectiveness of valid mean substitution in treating missing data in attitude assessment. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 28, p. 505-513.

DODO Y., KONDO O. et NARA T. 2002 - The skull of the Neanderthal child of burial n° 1. *In*: AKAZAWA T. et MUHESEN S. (eds.), *Neanderthals burials. Excavations of the Dederiyeh cave, Afrin, Syria,*. Kyoto: International Research center for Japanese Studies, p. 93-137.

DONNELLY V., FORAN A., MURPHY J., MCPARLAND P., KEANE D. et O'HERLIHY C. 2002 - Neonatal brachial plexus palsy: An unpredictable injury. *American journal of obstetrics and gynecology*, 187, p. 1209-1212.

DRISCOLL K.R.D. 2010 - *Secular change of the modern human bony pelvis: examining morphology in the United States using metrics and geometric morphometry* (inédit). Knoxville: University of Tenesse, 2010. 154p. Ph.D.

DRUCKER D. et BOCHERENS H. 2004 - Carbon and nitrogen stable isotopes as tracers of change in diet breadth during Middle and Upper Palaeolithic in Europe. *International Journal of Osteoarchaeology*, 14, p. 162-177.

DUBOIS J. et GRALL J.-Y. 1990 - Histoire contemporaine de l'accouchement par le siège. *Congrès du Groupement de l'Ouest des gynécologues et obstétriciens, Tours*, 85, p. 336-341.

DUCHER G., COURTEIX D., MÊME S., MAGNI C., VIALA J.F. et BENHAMOU C.L. 2005 - Bone geometry in response to long-term tennis playing and its relationship with muscle volume: a quantitative magnetic resonance imaging study in tennis players. *Bone*, 37, p. 457-466.

DUDAY H. et ARENSBURG B. 1991 - La Pathologie. *In*: BAR YOSEF O. et VANDERMEERSCH B. (eds.), *Le squelette moustérien de Kebara 2*. Paris: Editions du CNRS, p. 197.

DUNBAR R.I.M. et DUNBAR P. 1974 - Behaviour related to birthin wild gelada baboons (*Theropithecus gelada*). *Behavior*, 50, p. 185-191.

DUNSWORTH H., PONTZER H. et DEACON T. 2011 - Energetics - not pelvic constraints - determine human gestation length and altriciality. *American Journal of Physical Anthropology*, 144, p. 129.

DUNSWORTH H.M., WARRENER A.G., DEACON T., ELLISON P.T. et PONTZER H. 2012 - Metabolic hypothesis for human altriciality. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.

DUTAILLY B., COQUEUGNIOT H., DESBARATS P., GUEORGUIEVA S. et SYNAVE R. 2009 *3D surface reconstruction using HMH algorithm* - IEEE International Conference on Image Processing, Le Caire, 7-10 novembre 2009.

EGAN D.A. et AL-EISA E. 1999 - Pelvic skeletal asymmetry, postural control, and the association with low back pain: a review of the evidence. *Critical Reviews in Physical and Rehabilitation Medicine*, 11, p. 299-338.

ELDER J.H. et YERKES R.M. 1936 - Chimpanzee Births in Captivity: a Typical Case History and Report of Sixteen Births. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 120, p. 409-421.

ELFTMAN H.O. 1932 - The evolution of the pelvic floor of primates. *American Journal of Anatomy*, 51, p. 307-346.

ELLIOT M.G. et CRESPI B.J. 2008 - Placental invasiveness and brain-body allometry in eutherian mammals. *Journal of Evolutionary Biology*, 21, p. 1763-1778.

ELTON S. et CARDINI A. 2008 - Anthropology from the desk? The challenges of the emerging era of data sharing. *Journal of Anthropological Sciences*, p. 209-212.

ENDO et KIMURA 1970 - Postcranial skeleton of the Amud man. *In*: SUZUKI et TAKAI (eds.), *The Amud man and his cave site*. Tokyo: University of Tokyo, p. 231-406.

ENTRINGER S., BUSS C., ANDERSEN J., CHICZ-DEMET A., SANDMAN C. et WADHWA P. 2008 - Repeated ambulatory assessments of maternal cortisol over a multiple-day period predict length of gestation and birth weight. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 199, p. S56.

FABRE V., CONDEMI S. et DEGIOANNI A. 2009 - Genetic evidence of geographical groups among Neanderthals. *PLoS ONE*, 4, p. e5151.

FALK D. et CLARKE R. 2012 - Letter to the editor: response to Holloway and Broadfield's critique of our reconstruction of the Taung virtual endocast. *American Journal of Physical Anthropology*, 148, p. 483-485.

FALK D., ZOLLIKOFER C.P.E., MORIMOTO N. et PONCE DE LEÓN M.S. 2012 - Metopic suture of Taung (*Australopithecus africanus*) and its implications for hominin brain evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, p. 8467-8470.

FARABEUF L.H. et VANIER H. 1908 - *Introduction à l'étude clinique et à la pratique des accouchements*. Paris: Steinheil, 488 p.

FATTON B. 2005 - Anatomie dynamique du périnée. *In Pelvi-périnéologie*. Springer Paris, p. 21-30.

FEDRICK J. et ADELSTEIN P. 1978 - FACTORS ASSOCIATED WITH LOW BIRTH WEIGHT OF INFANTS DELIVERED AT TERM. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*, 85, p. 1-7.

FEREMBACH D., SCHWIDETZKY I. et STLOUKAL M. 1979 - Recommandations pour déterminer l'âge et le sexe sur le squelette. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, XIIIè série, p. 7-45.

FERRE F. 2003 - Unité fœto-placentaire et déclenchement de l'accouchement = Fetoplacental unit and onset of labor. *Reproduction humaine et hormones*, 16, p. 13-20.

FIGUERAS F., TORRENTS M., MUNOZ A., COMAS C., ANTOLIN E., ECHEVARRIA M., MALLAFRA J. et CARRERA J.M. 2002 - References intervals for fetal biometrical parameters. *European Journal of Obstetrics, Gynecology and Reproductive Biology*, 105, p. 25-30.

FLOBERG J., BELFRAGE P. et OHLSÉN H. 1987 - Influence of Pelvic Outlet Capacity on Labor: a prospective pelvimetry study of 1429 unselected primiparas. *Acta Obstetricia et Gynecologica Scandinavica*, 66, p. 121-126.

FOGLE D., KERSHAW T., DOBAK W., LINDSAY M., WESTDAHL C., ICKOVICS J. et RISING S.S. 2006 - Effect of dental hygiene and overall health behavior during pregnancy on preterm birth and length of gestation. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 195, p. S52.

FRAIPONT J. et LOHEST M. 1887 - La race humaine de Neanderthal ou de Candstadt en Belgique. Recherches ethnographiques sur les ossements humains découverts dans les dépôts quaternaires d'une grotte à Spy et détermination de leur âge géologique. *Gand ; Archives de biologie*, 7, p. 587-757.

FRANCISCUS R.G. 2009 - When did the modern human pattern of childbirth arise? New insights from an old Neandertal pelvis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, p. 9125-9126.

FRAYER D.W. 2006 - *The Krapina Neandertals. A comprehensive, centennial, illustrated bibliography.* Zagreb: Croatian Natural History Museum, 219 p.

FRÉMONDIÈRE P. et MARCHAL F. 2013 - L'accouchement de nos ancêtres était-il dystocique ? *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris.*, 25, p. 147-168.

FRIED P.A., WATKINSON B. et WILLAN A. 1984 - Marijuana use during pregnancy and decreased length of gestation. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 150, p. 23-27.

GAILLARD J. 1960 - Détermination sexuelle d'un os coxal fragmentaire. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, XI série, p. 255-267.

GAJDOS V., ALLALI S., ADAM C., ECOCHARD E., PIQUARD C., CUINET A. et BOUCHIREB K. 2010 - *Pédiatrie*. Paris: Masson, 634 p.

GAMBIER D. 1982 - Etude ostéométrique des astragales néandertaliens du Regourdou (Montignac, Dordogne). *C.R. de l'Académie des Sciences, Paris*, série II, p. 517-520.

GARN S.M. et PESICK S.D. 1982 - Relationship between various maternal body mass measures and size of the newborn. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 36, p. 664-8.

GAUDZINSKI-WINDHEUSER S. et ROEBREOEKS W. 2011 - On Neandertal subsistence in last interglacial forested environments in Northern Europe. *In*: CONARD N. J. et RICHTER J. (eds.), *Neanderthal Lifeways, Subsistence and Technology. One Hundred Fifty Years of Neanderthal Study*. Springer, p. 61-71.

GENOVES S. 1954 - The problem of the sex of certain fossil Hominids, with special reference to the Neandertal skeletons from Spy. *The Journal of the Royal Anthropological Institute of Great Britain and Ireland*, 84, p. 131-144.

GENOVÉS S. 1959 - L'estimation des différences sexuelles dans l'os coxal : différences métriques et différences morphologiques. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 10, p. 3-95.

GERACE J.R. 1959 - The mid-pelvis in pelvimetry. *Canadian Medical Association Journal*, 80, p. 166-168.

GHERMAN R.B., OUZOUNIAN J.G. et GOODWIN T.M. 1998 - Obstetric maneuvers for shoulder dystocia and associated fetal morbidity. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 178, p. 1126-1130.

GNAT R., SAULICZ E., BIALY M. et KLAPTOCZ P. 2009 - Does pelvic asymmetry always mean pathology? Analysis of mechanical factors leading to the asymmetry. *Journal of Human Kinetics*, 21, p. 23-35.

GODFREY L.R. et SUTHERLAND M.R. 1996 - Paradox of peramorphic paedomorphosis: Heterochrony and human evolution. *American Journal of Physical Anthropology*, 99, p. 17-42.

GOLOVANOVA L.V., HOFFECKER J.F., KHARITONOV V.M. et ROMANOVA G.P. 1999 - Mezmaiskaya cave: a Neanderthal occupation in the northern Caucasus. *Current Anthropology*, 40, p. 77-86.

GOMEZ-OLIVENCIA A. 2013 - Back to the old man's back: Reassessment of the anatomical determination of the vertebrae of the Neandertal individual of La Chapelle-aux-Saints. *Annales de PalÃ©ontologie*, 99, p. 43-65.

GOMEZ-OLIVENCIA A., CARRETERO J.-M., ARSUAGA J.-L., RODRIGUEZ-GARCIA L., GARCIA-GONZALES R. et MARTINEZ I. 2007 - Metric and morphological study of the upper cervical spine from the Sima de los Huesos site (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). *Journal of Human Evolution*, p. 6-25.

GOMEZ-OLIVENCIA A., EAVES-JOHNSON K.L., FRANCISCUS R.G., CARRETERO J.-M. et ARSUAGA J.-L. 2009 - Kebara 2: new insights regarding the most complete Neandertal thorax. *Journal of Human Evolution*, p. 75-90.

GOMMERY D., SÉNUT B. et KEYSER A. 2002 - Description d'un bassin fragmentaire de Paranthropus robustus du site Plio-Pléistocène de Drimolen (Afrique du Sud). *Geobios*, 35, p. 265-281.

GOMMERY D. et THACKERAY J.F. 2008 - A new hominid hip bone from Swartkrans (SKW 8012) in relation to the anatomy of the anterior inferior iliac spine. *Annals of the transvaal Museum*, 45, p. 55-66.

GONZALEZ P.N., BERNAL V., PEREZ S.I. et BARRIENTOS G. 2007 - Analysis of dimorphic structures of the human pelvis: its implications for sex estimation in samples without reference collections. *Journal of Archaelogical Science*, 34, p. 1720-1730.

GOODALL C. 1991 - Procrustes methods in the statistical analysis of shape. *Journal of Royal Statistical Society*, 53, p. 285-339.

GOODWIN M.B. et CHANEY D.S. 1994 - Molding, casting, and painting. *In*: LEIGGI P. et MAY P. (eds.), *Vertebrate paleontological techniques*. vol. volume 1. Cambridge: Cambridge University Press, p. 235-284.

GOORDEN T. 2000 - La semaine mondiale de sensibilisation de la population : sauvons des vies de femmes. *Journal du médecin*, 1235.

GORJANOVIC-KRAMBERGER D. 1906 - Der diluviale Mensch von Krapina in Kroatien. Ein Beitrag zur Paläoanthropologie. *In*: WALKHOFF O. (ed.) *Studien über die Ent wicklungsmechanik des Primatenskelletes*. vol. II. Wiesbaden: C.W. Kreidel, p. 59-277.

GOTTLIEB A. et GALAN H. 2007 - Shoulder dystocia: an update. *Obstetrics and gynecology clinics of North America*, 34, p. 501-31.

GRAHAM J.W. 2009 - Missing data analysis: making it work in the real world. *Annual Review of Psychology*, 60, p. 549-576.

GREEN R.E., KRAUSE J., BRIGGS A.W., MARICIC T., STENZEL U., KIRCHER M., PATTERSON N., LI H., ZHAI W., FRITZ M.H.-Y., HANSEN N.F., DURAND E.Y., MALASPINAS A.-S., JENSEN J.D., MARQUES-BONET T., ALKAN C., PRÜFER K., MEYER M., BURBANO H.A., GOOD J.M., SCHULTZ R., AXIMU-PETRI A., BUTTHOF A., HÖBER B., HÖFFNER B., SIEGEMUND M., WEIHMANN A., NUSBAUM C., LANDER E.S., RUSS C., NOVOD N., AFFOURTIT J., EGHOLM M., VERNA C., RUDAN P., BRAJKOVIC D., KUCAN Z., GUSIC I., DORONICHEV V.B., GOLOVANOVA L.V., LALUEZA-FOX C., DE LA RASILLA M., FORTEA J., ROSAS A., SCHMITZ R.W., JOHNSON P.L.F., EICHLER E.E., FALUSH D., BIRNEY E., MULLIKIN J.C., SLATKIN M., NIELSEN R., KELSO J., LACHMANN M., REICH D. et PÄÄBO S. 2010 - A Draft Sequence of the Neandertal Genome. *Science*, 328, p. 710-722.

GREENE D.L. et SIBLEY L.M. 1986 - Neandertal pubic morphology and gestation length revisited. *Current Anthropology*, 27, p. 517-518.

GREULICH W.W. et THOMS H. 1938 - The dimensions of the pelvic inlet of 789 white females. *The Anatomical Record*, 72, p. 45-51.

GRINE F.E., GUNZ P., BETTI-NASH L., NEUBAUER S. et MORRIS A.G. 2010 - Reconstruction of the late Pleistocene human skull from Hofmeyr, South Africa. *Journal of Human Evolution*, 59, p. 1-15.

GROSS M.M., HECKER H., MATTERNE A., GUENTER H.H. et KEIRSE M.J. 2006 - Does the way that women experience the onset of labour influence the duration of labour? *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*, 113, p. 289-294.

GRÜN R. et STRINGER C.B. 1991 - Electron spin resonance dating and the evolution of modern humans. *Archaeometry*, 33, p. 153-199.

GRÜN R. et STRINGER C.B. 2000 - Tabun revisited: revised ESR chronology and new ESR and U-series analyses of dental material from Tabun C1. *Journal of Human Evolution*, 39, p. 601-612.

GRUSS L.T. 2007 - Limb length and locomotor biomechanics in the genus Homo: an experimental study. *American Journal of Physical Anthropology*, p. 106-116.

GUATELLI-STEINBERG D., LARSEN C.S. et HUTCHINSON D.L. 2004 - Prevalence and the duration of linear enamel hypoplasia: a comparative study of Neandertals and Inuit foragers. *Journal of Human Evolution*, 47, p. 65-84.

GUIPERT G., DE LUMLEY M.-A. et DE LUMLEY H. sous presse - Restauration virtuelle d'Arago 21. *Comptes Rendus Palevol.*

GUIPERT G. et MAFART B. 2006 - Analyse morphométrique d'un os isolé et paléoanthropologie : intérêts et limites. *Anthropo (Colloques du GALF)*, 11, p. 285-291.

GUNZ P. 2005 - *Statistical & geometric reconstruction of hominid crania. Reconstructing Australopithecine ontogeny* (inédit). Vienne: Universität Wien, 2005. 215p.: Natürwissenschaft.

GUNZ P., MITTEROECKER P., BOOKSTEIN F.L. et WEBER G.W. 2004 - Computer aided reconstruction of Human crania using statistical and geométrical estimation methods.Enter the Past: computer applications and quantitative methods in archeology. *B.A.R. International Series*, 1227, p. 92-94.

GUNZ P., MITTEROECKER P., NEUBAUER S., WEBER G.W. et BOOKSTEIN F.L. 2009 - Principles for the virtual reconstruction of hominin crania. *Journal of Human Evolution*, 57, p. 48-62.

GUNZ P., NEUBAUER S., MAUREILLE B. et HUBLIN J.-J. 2011 - Virtual reconstruction of the Le moustier 2 newborn skull. Implications for neandertal ontogeny. *Paleo*, 22, p. 155-172.

GUPTA J.K. et NIKODEM C. 2000 - Maternal posture in labour. *European Journal of Obstetrics Gynecology and Reproductive Biology*, 92, p. 273-277.

GUREWITSCH E.D., JOHNSON E., HAMZEHZADEH S. et ALLEN R.H. 2006 - Risk factors for brachial plexus injury with and without shoulder dystocia. *American journal of obstetrics and gynecology*, 194, p. 486-492.

HADLOCK F.P., HARRIST R.B., CARPENTER R.J., DETER R.L. et PARK S.K. 1984 - Sonographic estimation of fetal weight. The value of femur length in addition to head and abdomen measurements. *Radiology*, 150, p. 535-540.

HAGER L.D. 1996 - Sex differences in the sciatic notch of great apes and modern humans. *American Journal of Physical Anthropology*, 99, p. 287-300.

HAIG D. 1993 - Genetic conflicts in Human pregnancy. *The Quarterly Review of Biology*, 68, p. 495-532.

HALL M.H. et BEWLEY S. 1999 - Maternal mortality and mode of delivery. *The Lancet*, 354, p. 776.

HARDY K., BUCKLEY S., COLLINS M., ESTALRRICH A., BROTHWELL D., COPELAND L., GARCIA-TABERNERO A., GARCIA-VARGAS S., RASILLA M., LALUEZA-FOX C., HUGUET R., BASTIR M., SANTAMARIA D., MADELLA M., WILSON J., CORTES A.F. et ROSAS A. 2012 - Neanderthal medics? Evidence for food, cooking, and medicinal plants entrapped in dental calculus. *Naturwissenschaften*, 99, p. 617-626.

HARIELLE C. 1985 - La grotte (ou gisement) du Regourdou, Montignac (Dordogne). *Spéléo-Dordogne*, 97, p. 7-15.

HARRIS E.F. et SMITH R.N. 2009 - Accounting for measurement error: a critical but often overlooked process. *Archives of oral biology*, 54, p. S107-S117.

HARTWIG-SCHERER S. 1993 - Body weight prediction in early fossil hominids: towards a taxon-independent approach. *American Journal of Physical Anthropology*, 92, p. 17-36.

HARVEY P.H. et CLUTTON-BROCK T.H. 1985 - Life history variation in Primates. *Evolution and Human Behavior*, 39, p. 559-581.

HARVEY P.H., CLUTTON-BROCK T.H. et MACE G.M. 1980 - Brain size and ecology in small mammals and primates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 77, p. 4387-4389.

HÄUSLER M. et BERGER L. 2001 - Stw 441/465: a new fragmentary ilium of a small-bodied *Australopithecus africanus* from Sterkfontein, South Africa. *Journal of Human Evolution*, 40, p. 411-417.

HÄUSLER M. et SCHMID P. 1995 - Comparison of the pelves of Sts 14 and AL 288-1 : implications for birth and sexual dimorphism in australopithecines. *Journal of Human Evolution*, p. 363-383.

HEIM J.-L. 1974 - Les Hommes fossiles de la ferrassie (Dordogne) et le problème de la définition des Néandertaliens classiques. *L'Anthropologie*, 78, p. 321-378.

HEIM J.-L. 1982a - *Les enfants néandertaliens de La Ferrassie. Etude anthropologique et analyse ontogénique des hommes de Néandertal.* Paris: Masson, 169 p.

HEIM J.-L. 1982b - *Les Hommes fossiles de La Ferrassie. Les squelettes adultes.* Paris: Masson, 272 p.

HEIM J.-L. 1983 - Les variations du squelette post-crânien des hommes de Neandertal suivant le sexe. *L'Anthropologie*, 87, p. 5-26.

HENNEBERG M. 1998 - Evolution of the human brain: is bigger better? *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 25, p. 745-749.

HENRY A.G., BROOKS A.S. et PIPERNO D.R. 2011 - Microfossils in calculus demonstrate consumption of plants and cooked foods in Neanderthal diets (Shanidar III, Iraq; Spy I and II, Belgium). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108, p. 486-491.

HERMES R., SARAGUSTY J., SCHAFTENAAR W., GÖRITZ F., SCHMITT D.L. et HILDEBRANDT T.B. 2008 - Obstetrics in elephants. *Theriogenology*, 70, p. 131-144.

HIGGINS R.W. et RUFF C.B. 2011 - The effects of distal limb segment shortening on locomotor efficiency in sloped terrain: Implications for Neandertal locomotor behavior. *American Journal of Physical Anthropology*, 146, p. 336-345.

HILLSON S. 1996 - *Dental Anthropology*. Cambridge: Cambidge University Press, 373 p.

HIRATA S., FUWA K., SUGAMA K., KUSUNOKI K. et TAKESHITA H. 2011 - Mechanism of birth in chimpanzees: humans are not unique among primates. *Biology Letters*, 7, p. 686-688.

HIRVE S.S. et GANATRA B.R. 1994 - Determinants of low birth weight: a community based prospective cohort study. *Indian pediatrics*, 31, p. 1221-1225.

HOCKETT B. 2012 - The consequences of Middle Paleolithic diets on pregnant Neanderthal women. *Quaternary International*, 264, p. 78-82.

HOCKETT B. et HAWS J.A. 2005 - Nutritional ecology and the human demography of Neandertal extinction. *Quaternary International : Armageddon or entente? The demise of the European Neandertals in Isotope Stage 3*, 137, p. 21-34.

HOGAN M.C., FOREMAN K.J., NAGHAVI M., AHN S.Y., WANG M., MAKELA S.M., LOPEZ A.D., LOZANO R. et MURRAY C.J. 2010 - Maternal mortality for 181 countries, 1980-2008: a systematic analysis of progress towards Millennium Development Goal 5. *The Lancet*, 375, p. 1609-1623.

HOLCOMB S.M.C. et KONIGSBERG L.W. 1995 - Statistical study of sexual dimorphism in the human fetal sciatic notch. *American Journal of Physical Anthropology*, 97, p. 113-125.

HOLLIDAY T.W. 1997 - Postcranial evidence of cold adaptation in European Neandertals. *American Journal of Physical Anthropology*, 104, p. 245-258.

HOLLIDAY T.W. et FALSETTI A.B. 1995 - Lower limb length of European early modern humans in relation to mobility and climate. *Journal of Human Evolution*, 29, p. 141-153.

HOLLOWAY R.L. 1966 - Cranial capacity, neural reorganization, and hominid evolution: a search for more suitable parameters. *American Anthropologist*, 68, p. 103-121.

HOLLOWAY R.L. 1991 - On Falk's 1989 accusations regarding Holloway's study of the Taung endocast: A reply. *American Journal of Physical Anthropology*, 84, p. 87-88.

HOLLOWAY R.L. et BROADFIELD D.C. 2011 - Technical note: the midline and endocranial volume of the Taung endocast. *American Journal of Physical Anthropology*, 146, p. 319-322.

HOLLOWAY R.L. et BROADFIELD D.C. 2012 - Reply to Falk and Clarke on Taung virtual endocast midline and volume. *American Journal of Physical Anthropology*, 149, p. 326.

HOLLOWAY R.L., BROADFIELD D.C. et CARLSON K.J. 2013 - Metopism and early human brain evolution. *American Journal of Physical Anthropology*, 150, p. 150.

HOLT B. et BENFER R.A. 2000 - Estimating missing data: an iterative regression approach. *Journal of Human Evolution*, 39, p. 289-296.

HOWELL F.C. 1958 - Upper Pleistocene Men of the Southwest Asian Mousterian. *In*: VON KOENIGSWALD G. H. R. (ed.) *Hundert Jahre Neanderthaler. 1856-1956. Gedenkbuch*. Cologne: Bölhau Verlag, p. 185-198.

HOWELLS W.W. 1965 - Détermination du sexe du bassin par fonction discriminante : étude du matériel du Dr. Gaillard. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, XIè série, p. 95-105.

HOYME L.E. 1957 - The earliest use of indices for sexing pelves. *American Journal of Physical Anthropology*, 15, p. 537-546.

HUBLIN J.-J., BARROSO RUIZ C., MEDINA LARA P., FONTUGNE M. et REYSS J.-L. 1995 - The Mousterian site of Zafarraya (Andalucia, Spain): dating and implications on the palaeolithic peopling process of Western Europe. *C.R. de l'Académie des Sciences, Paris*, 321, série II a, p. 931-937.

HUBLIN J.-J. et COQUEUGNIOT H. 2006 - Absolute or proportional brain size: that is the question. A reply to Leigh's (2006) comments. *Journal of Human Evolution*, p. 109-113.

HUERTA-ENOCHIAN G.S., KATZ V.L., FOX L.K., HAMLIN J.A. et KOLLATH J.P. 2006 - Magnetic resonance-based serial pelvimetry: do maternal pelvic dimensions change during pregnancy? *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 194, p. 1689-1694.

IHAKA R. et GENTLEMAN R. 1996 - R: a language for data analysis and graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5, p. 299-314.

ISAAC B. 2002 - Biometry of the posterior border of the human hip bone: normal values and their use in sex determination. *Journal of the Anatomical Society of India*, 51, p. 43-46.

ISLER K. et VAN SCHAIK C.P. 2012 - Allomaternal care, life history and brain size evolution in mammals. *Journal of Human Evolution*, 63, p. 52-63.

IVANHOE F. 1985 - On the Neandertal pubis and acromegaly. *Current Anthropology*, 26, p. 526-529.

JCGM100 2008 *ISO: Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)* - International organization for standardization, Genève, 176 p.

JEWETT D.A. et DUKELOW W.R. 1972 - Cyclicity and gestation length of Macaca fascicularis. *Primates*, 13, p. 327-332.

JOFFE T.H., TARANTAL A.F., RICE K., LELAND M., OERKE A.-K., RODECK C., GEARY M., HINDMARSH P., WELLS J.C.K. et AIELLO L.C. 2005 - Fetal and infant head circumference sexual dimorphism in Primates. *American Journal of Physical Anthropology*, p. 97-110.

JOHANSON D.C., LOVEJOY C.O., KIMBEL W.H., WHITE T.D., WARD S.C., BUSH M.E., LATIMER B.M. et COPPENS Y. 1982 - Morphology of the Pliocene partial

hominid skeleton (A.L. 288-1) from the Hadar formation, Ethiopia. *American Journal of Physical Anthropology*, 57, p. 403-451.

JOLLY A. 1972 - Hour of Birth in Primates and Man. *Folia Primatologica*, 18, p. 108-121.

JOLLY A. 1973 - Primate birth hour. *International Zoo Yearbook*, 13, p. 391-397.

JOUFFROY F.-K., ISHIDA H. et JUNGERS W.L. 1983 - Les systèmes locomoteurs chez les Primates: hommage à Giovanni A. Borelli (1608-1679). *Annales des Sciences Naturelles - Zoologie ; 13è série*, 5, p. 53-65.

JOULIN D. 1864 - Anatomie et physiologie comparée du bassin des mammifères. *Archives générales de Médecine*, p. 29-46.

JUNGERS W.L. et MINNS R.J. 1979 - Computed tomography and biomechanical analysis of fossil long bones. *American Journal of Physical Anthropology*, 50, p. 285-290.

JUSOT V. 1996 - *Surmortalité féminine et mortalité maternelle : références, comparaisons et interprétation paléodémographique* (inédit). Bordeaux: Université de Bordeaux, 1996. 102p.: Anthropologie.

KACKI S. et VILLOTE S. 2006 - Maladie hyperostosique et mode de vie : intérêt d'une démarche bio-archéologique. Exemple du cimetière du Couvent des Soeurs Grises de Beauvais (Oise), XVe-XVIIIe siècles. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 18, p. 55-64.

KAISER I.H. et HALBERG F. 1962 - Circadian periodic aspects of birth. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 98, p. 1056-1068.

KALVIN A.D., DEAN D. et HUBLIN J.-J. 1995 - Reconstruction of human fossils. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 15, p. 12-15.

KAMEL R. 2010 - The onset of human parturition. *Archives of Gynecology and Obstetrics*, 281, p. 975-982.

KAMINA P. 1995 - *Ostéologie des membres*. Deuxième édition édition. Paris: Maloine, 148 p.

KAPLAN H., HILL K., LANCASTER J. et HURTADO A.M. 2000 - A theory of human life history evolution: Diet, intelligence, and longevity. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*, 9, p. 156-185.

KATZMARZYK P.T. et LEONARD W.R. 1998 - Climatic influences on human body size and proportions: ecological adaptations and secular trends. *American Journal of Physical Anthropology*, 106, p. 483-503.

KAUNITZ A.M., SPENCE C., DANIELSON T.S., ROCHAT R.W. et GRIMES D.A. 1984 - Perinatal and maternal mortality in a religious group avoiding obstetric care. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 150, p. 826-831.

KEARNEY R., MILLER J.M., ASHTON-MILLER J.A. et DELANCEY J.O.L. 2006 - Obstetric factors associated with levator ani muscle injury after vaginal birth. *Obstetrics & Gynecology*, 107, p. 144-149.

KELLEY D.J., FARHOUD M., MEYERAND M.E., NELSON D.L., RAMIREZ L.F., DEMPSEY R.J., WOLF A.J., ALEXANDER A.L. et DAVIDSON R.J. 2007 - Creating physical 3D stereolithograph models of brain and skull. *PLoS ONE*, 2, p. e1119.

KENDALL D. 1977 - The diffusion of shape. *Advances in Applied Probability*, 9, p. 428-430.

KENNEDY G.E. 1983a - A morphometric and taxonomic assessment of a hominine femur from the lower member, Koobi Fora, Lake Turkana. *American Journal of Physical Anthropology*, 61, p. 429-436.

KENNEDY G.E. 1983b - Some aspects of femoral morphology in *Homo erectus*. *Journal of Human Evolution*, 12, p. 587-616.

KENNEDY G.E. 1985 - Bone thickness in *Homo erectus*. *Journal of Human Evolution*, 14, p. 699-708.

KIBII J.M., CHURCHILL S.E., SCHMID P., CARLSON K.J., REED N.D., DE RUITER D.J. et BERGER L.R. 2011 - A partial pelvis of *Australopithecus sediba*. *Science*, 333, p. 1407-1411.

KIM Y.K., KHO H.S. et LEE K.H. 2000 - Age estimation by occlusal tooth wear. *Journal of Forensic Sciences*, 45, p. 303-309.

KING J.C. 2003 - The risk of maternal nutritional depletion and poor outcomes increases in early or closely spaced pregnancies. *The Journal of Nutrition*, 133, p. 1732S-1736S.

KLINGENBERG C.P. 1998 - Heterochrony and allometry: the analysis of evolutionary change in ontogeny. *Biological Reviews*, 73, p. 79-123.

KLINGENBERG C.P., BARLUENGA M. et MEYER A. 2002 - Shape analysis of symmetric structures: quantifying variation among individuals and asymmetry. *Evolution*, 56, p. 1909-1920.

KOJIMA S., KOBAYASHI S., SAITO N., NAWATA M., HORIUCHI H. et TAKAOKA K. 2002 - Three-dimensional computed tomography evaluation of bony birth canal morphologic deformity (small pelvic cavity) after dome pelvic osteotomy for developmental dysplasia of the hip. *American journal of obstetrics and gynecology*, 187, p. 1591-1595.

KORHONEN U., SOLJA R., LAITINEN J., HEINONEN S. et TAIPALE P. 2010 - MR pelvimetry measurements, analysis of inter- and intra-observer variation. *European Journal of Radiology*, 75, p. e56-e61.

KOUCHI M. et MOCHIMARU M. 2011 - Errors in landmarking and the evaluation of the accuracy of traditional and 3D anthropometry. *Applied Ergonomics*, 42, p. 518-527.

KOUCHI M., MOCHIMARU M., TSUZUKI K. et YOKOI T. 1999 - Interobserver errors in anthropometry. *Journal of Human Ergology*, 28, p. 15-24.

KRAHL H., MICHAELIS U., PEIEPER H.-G., QUACK G. et MONTAG M. 1994 - Stimulation of bone growth through sports: a radiologic investigation of the upper extremities in professional tennis players. *American Journal of Sports Medicine*, 22, p. 751-757.

KRAJÍCEK V., DUPEJ J., VELEMÍNSKÁ J. et PELIKÁN J. 2012 - Morphometric analysis of mesh asymmetry. *Journal of WSCG*, 20.

KRAMER M.S. 1987 - Determinants of low birth weight: methodological assesment and meta-analysis. *Bulletin of the World Health Organization*, 65, p. 663-737.

KRAMER M.S., OLIVIER M., MCLEAN F.H., DOUGHERTY G.E., WILLIS D.M. et USHER R.H. 1990 - Determinants of fetal growth and body proportionality. *Pediatrics*, 86, p. 18-26.

KRAMER P.A. et ECK G.G. 2000 - Locomotor energetics and leg length in hominid bipedality. *Journal of Human Evolution*, 38, p. 651-666.

KRANTZ G.S. 1968 - Brain size and hunting ability in earliest man. *Current Anthropology*, 9, p. 450-451.

KROGMAN W. 1951 - The scars of Human evolution. *Scientific American Magazine*, 185, p. 54-57.

KROGMAN W. et ISÇAN M.Y. 1986 - *The Human skeleton in forensic medicine*. Springfield: Charles Thomas, 551 p.

KRUGER J., MURPHY B. et THOMPSON S. 2006 - Childbirth and sportswomen: the perceptions of obstetric caregivers. *Vision*, 14, p. 7-15.

KRUGER J.A., MURPHY B.A. et HEAP S.W. 2005 - Alterations in levator ani morphology in elite nulliparous athletes: a pilot study. *Australian and New Zealand Journal of Obstetrics and Gynaecology*, 45, p. 42-47.

KRUKHOFF S. 1978 - Structures angulaires constantes au cours de l'évolution du crâne, chez l'Homme actuel et fossile et chez les singes supérieurs. *In*: BONÉ E., COPPENS Y., GENET-VARCIN E., GRASSÉ P.-P., HEIM J.-L., HOWELLS W. W., HÜRZELER J., KRUKHOFF S., DE LUMLEY H., DE LUMLEY M.-A., PIVETEAU J., SABAN R., THOMA A., TOBIAS P. V. et VANDERMEERSCH B. (eds.), *Les origines humaines et les époques de l'intelligence*. Paris: Masson, p. 117-152.

KUHN S.L. et STINER M.C. 2006 - What's a mother to do? The division of labor among Neandertals and modern Humans in Eurasia. *Current Anthropology*, 47, p. 953-980.

KUJANOVA M., BIGONI L., VELEMINSKA J. et VELEMINSKY P. 2008 - Limb bones asymmetry and stress in medieval and recent populations of Central Europe. *International Journal of Osteoarchaeology*, 18, p. 476-491.

KULLMER O. 2008 - Benefits and risks in virtual anthropology. *Journal of Anthropological Sciences*, p. 205-207.

KURKI H.K. 2007 - Protection of obstetric dimensions in a small-bodied human sample. *American Journal of Physical Anthropology*, 133, p. 1152-1165.

KURKI H.K. 2011 - Pelvic dimorphism in relation to body size and body size dimorphism in humans. *Journal of Human Evolution*, 61, p. 631-643.

KURKI H.K. 2013 - Bony pelvic canal size and shape in relation to body proportionality in humans. *American Journal of Physical Anthropology*, 151, p. 88-101.

LAITMAN J.T. 2004 - New eyes for old bones: the power of virtual study of the fossil hominid from Eliye Springs, Kenya, by CT-based 3D reconstruction. *The Anatomical Record Part B: The New Anatomist*, 278, p. 2-3.

LANZARONE V. et DIETZ H.P. 2007 - Three-dimensional ultrasound imaging of the levator hiatus in late pregnancy and associations with delivery outcomes. *Australian and New Zealand Journal of Obstetrics and Gynaecology*, 47, p. 176-180.

LAPEER R.J. et PRAGER R.W. 2001 - Fetal head moulding: finite element analysis of a fetal skull subjected to uterine pressures during the first stage of labour. *Journal of Biomechanics*, 34, p. 1125-1133.

LAPEER R.J.A. et PRAGER R.W. 2000 - 3D shape recovery of a newborn skull using thin-plate splines. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 24, p. 193-204.

LARSEN C.S. 1995 - Biological Changes in Human Populations with Agriculture. *Annual Review of Anthropology*, 24, p. 185-213.

LAW R.G. 1954 - Prolonged labour in multiparae. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*, 61, p. 331-338.

LAWOYIN T.O. 1993 - A prospective study on some factors which influence the delivery of large babies. *Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 96, p. 352-356.

LAWOYIN T.O. et OYEDIRAN A.B. 1992 - A prospective study on some factors which influence the delivery of low birth weight babies in a developing country. *African Journal of Medicine and Maeical Siences*, 21, p. 33-39.

LAZAREVSKI M. 1998 - Le rôle méconnu des os du bassin: morpho-topographie pelvienne et genèse du prolapsus. *In*: BECO J., MOUCHEL J. et NELISSEN G. (eds.), *La Périnéologie…Comprendre un équilibre et le préserver*. Verviers: Odyssée 1372.

LAZORTHES G. et ZADEH J. 1987 - Constitution et territoire cutané des branches postérieures des nerfs rachidiens. *Revue de Médecine Orthopédique*, 10, p. 5-9.

LE RAY C., AUDIBERT F.O., GOFFINET F.O. et FRASER W. 2009 - When to stop pushing: effects of duration of second-stage expulsion efforts on maternal and neonatal outcomes in nulliparous women with epidural analgesia. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 201, p. 361.e1-361.e7.

LEDE R.L., BELIZAN J.M. et CARROLI G. 1996 - Is routine use of episiotomy justified? *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 174, p. 1399-1402.

LEE S.-H. 2001 - Assigned resampling method: a nex method to estimate size sexual dimorphism in samples of unknown sex. *Przeglad Anthropologiczny - Anthropological review*, p. 21-39.

LEIGH S.R. 1996 - Evolution of human growth spurts. *American Journal of Physical Anthropology*, 101, p. 455-474.

LEIGH S.R. 2004 - Brain growth, life history, and cognition in Primate and Human evolution. *American Journal of Primatology*, p. 139-164.

L'ENGLE WILLIAMS F. et ORBAN R. 2007 - Ontogeny and phylogeny of the pelvis in Gorilla, Pongo, Pan, Australopithecus and Homo. *Folia Primatologica*, p. 99-117.

LEONG A. 2006 - Sexual dimorphism of the pelvic architecture: a struggling response to destructive and parsimonious forces by natural & mate selection. *McGill Journal of Medicine*, p. 61-66.

LEROI-GOURHAN A. 1964 - *Les religions de la Préhistoire (Paléolithique)*. Paris: PUF, 156 p.

LESSERTISSEUR J. 1968 - Du bipède animal au bipède humain. *Bulletin de la société zoologique de France*, 93, p. 505-535.

LESSERTISSEUR J. et PETIT-MAIRE N. 1972 - Quelques remarques sur la position érigée et la démarche bipède chez les primates non humains. *Mammalia*, 36, p. 262-268.

LEUTENEGGER W. 1970 - Das Becken der rezenten Primaten. *Morphologisches Jahrbuch*, 115, p. 1-101.

LEUTENEGGER W. 1972a - Functional aspects of pelvic morphology in simian primates. *Journal of Human Evolution*, 3, p. 207-222.

LEUTENEGGER W. 1972b - Newborn size and pelvic dimensions of Australopithecus. 240, p. 568-569.

LEUTENEGGER W. 1974 - Functional aspects of pelvic morphology in simian Primates. *Journal of Human Evolution*, 3, p. 207-222.

LEUTENEGGER W. 1982 - Encephalisation and obstetrics in Primates with particular reference to human evolution. *In*: ARMSTRONG E. et FALK D. (eds.), *Primate Brain Evolution*. New-York: Plenum press, p. 85-95.

LEWIN R. 1997 - *Bones of contention*. 2nd édition. Chicago and London: The University of Chicago Press, 366 p.

LI X., KRUGER J., CHUNG J.-H., NASH M. et NIELSEN P. 2008 - Modelling childbirth: comparing athlete and non-athlete pelvic floor mechanics. *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention*, 11, p. 750-757.

LIAO J.B., BUHIMSCHI C.S. et NORWITZ E.R. 2005 - Normal labor: mechanism and duration. *Obstetrics and gynecology clinics of North America*, 32, p. 145-164.

LIEBERMAN D.E. 1998 - Sphenoid shortening and the evolution ofmodern human cranial shape. *Nature*, p. 158-162.

LINDBURG D.G. 1982 - Primate obstetrics: the biology of birth. *American Journal of Primatology*, 3, p. 193-199.

LINDBURG D.G. et DESSEZ HAZELL L. 1972 - Licking of the neonate and duration of labor in great apes and man. *American Anthropologist*, 74, p. 318-325.

LORENZO C., CARRETERO J.M., ARSUAGA J.L., GRACIA A. et MARTINEZ I. 1998 - Intrapopulational body size variation and cranial capacity variation in middle pleistocene humans: The Sima de los Huesos sample (Sierra de Atapuerca, Spain). *American Journal of Physical Anthropology*, 106, p. 19-33.

LOUDON I. 1992 - *Death in Childbirth. An international study of maternal care and maternal mortality 1800 - 1950*. Oxford: Clarendon Press, 622 p.

LOVEJOY C.O. 1975 - Biomechanical perspectives on the lower limb of early hominids. *In*: TUTTLE R. H. (ed.) *Primate functional morphology and evolution.* La Haye: Mouton de Gruyter, p. 291-326.

LOVEJOY C.O. 1979 - A reconstruction of the pelvis of Al 288-1 (Hadar formation, Ethiopia). *American Journal of Physical Anthropology*, 50, p. 460.

LOVEJOY C.O. 2005a - Histoire naturelle de la marche et de la posture chez l'Homme. Partie 2. Hanche et cuisse. *EMC-Kinésithérapie*, p. 113-128.

LOVEJOY C.O. 2005b - Histoire naturelle de la marche et de la posture humaine : colonne vertébrale et pelvis. *EMC-Kinésithérapie*, p. 129-151.

LOVEJOY C.O., HEIPLE K.G. et BURSTEIN A.H. 1973 - The gait of Australopithecus. *American Journal of Physical Anthropology*, 38, p. 757-779.

LÜ Z. 1995 - Study of the hip bone of Jinniushan Man. *Journal of Chinese Antiquity*, 2, p. 1-9.

LUMMAA V. et TREMBLAY M. 2003 - Month of birth predicted reproductive success and fitness in pre-modern Canadian women. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 270, p. 2355-2361.

MACDONALD G.R. et HUNT T.E. 1952 - Sacro-iliac joints. Observation on the gross and histological changes in the various age groups. *Canadian Medical Association Journal*, 66, p. 157-163.

MACDONALD I. 1953 - The growth of the foetal head in the last weeks of pregnancy. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*, 60, p. 61-66.

MACKENZIE I.Z., SHAH M., LEAN K., DUTTON S., NEWDICK H. et TUCKER D.E. 2007 - Management of shoulder dystocia: trends in incidence and maternal and neonatal morbidity. *Obstetrics & Gynecology*, 110, p. 1059-1068.

MADELAINE S., MAUREILLE B., CAVANIÉ N., COUTURE C., BONIFAY E., ARMAND D., BONIFAY M.-F., DUDAY H., FOSSE P. et VANDERMEERSCH B. 2008 - Nouveaux restes humains moustériens rapportés au squelette néandertalien de Regourdou 1 (Regourdou, commune de Montignac, Dordogne, France). *Paleo*, p. 101-114.

MAFART B., GUIPERT G., ALLIEZ-PHILIP C. et BRAU J.-J. 2007 - Virtual reconstitution and new palaeopathological study of the Magdalenian child's skull of Rochereil. *Comptes Rendus Palevol*, 6, p. 569-579.

MAFART B.M., GUIPERT G., DE LUMLEY M.-A. et SUBSOL G. 2004 - Three dimensional computer imaging of hominid fossils: a new step in human evolution studies. *Journal of the American College of Radiology*, 55, p. 264-270.

MAGNIN P. et PELLISSIER B. 1978 - *Etude anatomo-clinique des viciations pelviennes, leur influence sur le mécanisme de l'accouchement.* Paris: Editions techniques, encyclopédie médicale et chirurgienne.

MAJO T. 1992 - Ontogénèse de l'os coxal et détermination sexuelle : l'importance de l'ilium. *Bulletin de la Société royale Belge d'Anthropologie et de Préhistoire*, 4, p. 53-65.

MAJO T. 1995 - Quelques aspects de la croissance de l'os coxal : application aux néandertaliens de La Ferrassie. *Anthropologie et Préhistoire*, 106, p. 57-64.

MAJO T. 2000 - *L'os coxal non-adulte : approche méthodologique de la croissance et de la diagnose sexuelle. Application aux enfants du paléolithique moyen.* (inédit). Bordeaux: Université Bordeaux 1, 2000. 347p.: Anthropologie.

MALINAS Y. 1970 - La cavité pelvienne de *Australopithecus prometheus* (Dart). Essai de paléo-obstétrique. *Bulletin de l'Académie des Sciences de Lorraine*, 9, p. 254-269.

MALINAS Y. 1995 - Mécanique obstétricale. *In*: EMILE P., CABROL D. et PONS J.-C. (eds.), *Obstétrique*. Paris: Flammarion, Médecine sciences.

MALINAS Y. et FAVIER M. 1979 - *ABC de mécanique obstétricale*. Paris: Masson, 100 p.

MANN A. 1995 - Modern Human origins : evidence from the Near East. *Paléorient*, 21, p. 35-46.

MANN A. et MAUREILLE B. 2007 - Les Néandertaliens européens. *In*: VANDERMEERSCH B. et MAUREILLE B. (eds.), *Les Néandertaliens : biologie et culture*. Paris: C.T.H.S., p. 69-85.

MANN A. et VANDERMEERSCH B. 1997 - An adolescent female Neandertal mandible from Montgaudier cave, Charente, France. *American Journal of Physical Anthropology*, p. 507-527.

MARCHAL F. 1994 - Mise en évidence de changements précoces dans l'ontogénèse du bassin humain par une étude morphométrique. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 6, p. 101-110.

MARCHAL F. 1997 - *L'os coxal des Hominidés fossiles* (inédit). Marseille: Université de la Méditerranée, Aix-Marseille II, 1997. 378p. thèse de doctorat: Paléontologie humaine.

MARCHAL F. 2000a - L'ischion et le pubis des néandertaliens : morphologie particulière ou héritage ancestral ? *Biométrie humaine et anthropologie*, 18, p. 77-85.

MARCHAL F. 2000b - A new morphometric analysis of the hominid pelvic bone. *Journal of Human Evolution*, 38, p. 347-365.

MARCHAL F. 2003 - Le dimorphisme sexuel de conformation de l'os coxal humain. Bases biologiques et nouvelles applications possibles. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 15, p. 7-24.

MARCUS L.F. 1990 - Traditional morphometrics. *In*: ROHLF F. J. et BOOKSTEIN F. L. (eds.), *Proceedings of the Michigan morphometrics workshop*. University if Michigan Museums, Ann Arbor, p. 77-122.

MARINO F. 2008 - The evolutionary basis of thermoregulation and exercise performance. *In*: MARINO F. (ed.) *Thermoregulation and Human Performance*. vol. 53. Bâle: Karger, p. 1-13.

MARTIN R. 1914 - *Lehrbuch der Anthropologie*. Jena: Gustav Fischer, 1181 p.

MARTIN R. 1996 - Scaling of the Mammalian brain: the maternal energy hypothesis. *Physiology*, 11, p. 149-156.

MARTIN R.D. 1983 *Human brain evolution in an ecological context. Fifty-second James Arthur Lecture on Evolution of the Human Brain* - American Museum of Natural History, New York.

MARTIN R.D. 2007 - The evolution of Human reproduction: a primatological perspective. *Yearbook of Physical Anthropology*, p. 59-84.

MARTIN R.D. et MACLARNON A.M. 1985 - Gestation period, neonatal size and maternal investment in placental mammals. *Nature*, 313, p. 220-223.

MARTÍNEZ-GÓMEZ M., CORONA-QUINTANILLA D.L., CRUZ-GÓMEZ Y., ZEMPOALTECA R., RODRÍGUEZ-ANTOLÍN J. et CASTELÁN F. 2012 - The role of pelvic and perineal muscles in reproductive and excretory functions. *In*: MEDICINE A. O. E. I. C. A. S. (ed.) *Steele, Catriona*. InTech.

MAUREILLE B. 1994 - *La face chez* Homo erectus *et* Homo sapiens *: recherche sur la variabilité morphologique et métrique* (inédit). Bordeaux: Université Bordeaux 1, 1994. 486p.: Anthropologie biologique.

MAUREILLE B. 2002a - La redécouverte du nouveau-né néandertalien le Moustier 2. *Paleo*, 14, p. 221-238.

MAUREILLE B. 2002b - A lost Neanderthal neonate found. *Nature*, p. 33-34.

MAUREILLE B. 2007 - Portrait d'un Néandertalien d'Europe de l'Ouest. *In*: VANDERMEERSCH B. (ed.) *Les néandertaliens. Biologie et cultures.* Paris: Editions du CTHS, p. 53-67.

MAUREILLE B. et BAR D. 1999 - The premaxilla in Neandertal and early modern children: ontogeny and morphology. *Journal of Human Evolution*, 37, p. 137-152.

MAUREILLE B., MADELAINE S., TURQ A., CAVANHIÉ N., COUTURE C., BRUZEK J. et MEYER V. sous presse - Regourdou 1 (site de Regourdou, Montignac, Dordogne) : nouvelles données, nouvelles questions sur une sépulture néandertalienne. *In*: COURTAUD P., ROTTIER S. et DUDAY H. (eds.), *Congrès Préhistorique de France*. Les-Eyzies-de-Tayac-Sireuil.

MAUREILLE B. et MAJOUFRE-LEFEBVRE C. 2003 - The Neandertal perinate from Le Moustier: an exceptional specimen. *Italian Journal of Pediatrics*, 29, p. 161-164.

MAUREILLE B., ROUGIER H., HOUËT F. et VANDERMEERSCH B. 2001 - Les dents inférieures du Néandertalien Regourdou 1 (site de Regourdou, commune de Montignac, Dordogne) : Analyses métriques et comparatives. *Paleo*, p. 183-200.

MAUREILLE B. et TILLIER A.-M. 2008 - Répartition géographique et chronologique des sépultures néandertaliennes. *In*: VANDERMEERSCH B., CLEYET-MERLE J.-J., JAUBERT J., MAUREILLE B. et TURQ A. (eds.), *Première humanité, gestes funéraires des Néandertaliens.* Paris: Réunion des Musées Nationaux., p. 66-74.

MAUREILLE B. et VANDERMEERSCH B. 2007 - Les sépultures néandertaliennes. *In*: MAUREILLE B. (ed.) *Les Néandertaliens : biologie et culture*. Paris: C.T.H.S., p. 311-322.

MAUREL L. 2009 - Jonzac, Eglise St Gervais St Protais. *Bulletin Scientifique Régional, édition Ministère de la Culture et de la Communication*, 20, p. 68-73.

MAYR E. 1950 - Taxonomic categories in fossil hominids. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 15, p. 109-118.

MC COWN T.D. et KEITH A. 1939 - *The stone age of Mount Carmel. The fossil human remains from the Levalloiso-Mousterian*. Oxford: Clarendon Press, 390 p.

MCCOWN T.D. et KEITH A. 1939 - *The stone age of Mount Carmel. The fossil human remains from the Levalloiso-Mousterian*. Oxford: Clarendon Press, 390 p.

MCHENRY H.M. 1975a - The ischium and hip extensor mechanism in human evolution. *American Journal of Physical Anthropology*, 43, p. 39-46.

MCHENRY H.M. 1975b - A new pelvic fragment from swartkrans and the relationship between the robust and gracile Australopithecines. *American Journal of Physical Anthropology*, 43, p. 245-261.

MCHENRY H.M. et COFFING K. 2000 - Australopithecus to Homo: transformations in body and mind. *Annual Review of Anthropology*, 29, p. 125-146.

MCINTIRE D.D., BLOOM S.L., CASEY B.M. et LEVENO K.J. 1999 - Birth weight in relation to morbidity and mortality among newborn infants. *New England Journal of Medicine*, 340, p. 1234-1238.

MCLAUCHLAN G.J. et GARDNER D.L. 2002 - Sacral and iliac articular cartilage thickness and cellularity: relationship to subchondral bone end plate thickness and cancellous bone density. *Rheumatology*, 41, p. 375-380.

MCPHERSON G.K. et KRIEWALL T.J. 1980 - Fetal head molding: an investigation utilizing a finite element model of the fetal parietal bone. *Journal of Biomechanics*, 13, p. 17-26.

MERGER R., LÉVY J. et MELCHIOR J. 2001 - *Précis d'obstétrique*. 6ème édition. Paris: Masson, 597 p.

MEYER V., BRUZEK J., COUTURE C., MADELAINE S. et MAUREILLE B. 2011a - Un nouveau bassin néandertalien : description morphologique des restes pelviens de Regourdou 1 (Montignac, Dordogne, France). *PALEO*, 22, p. 207-222.

MEYER V., BRUZEK J., COUTURE C., SANTOS F., DUTAILLY B. et MAUREILLE B. 2011b - Regourdou 1: a new neandertalian pelvis, preliminary study and perspectives of functional interpretation. *American Journal of Physical Anthropology*, 144, p. 214.

MEYER V., BRUZEK J., COUTURE C., SANTOS F., DUTAILLY B. et MAUREILLE B. 2012a - 3D reconstruction of Regourdou 1 pelvis: estimation of missing parts and first morphometric analysis. *American Journal of Physical Anthropology*, 147, p. 214.

MEYER V., COUTURE C., BRUZEK J., MADELAINE S. et MAUREILLE B. 2011c - Un nouveau bassin néandertalien, Regourdou1 : caractéristiques morphologiques et données métriques. *In*: *1836e réunion de la Société d'Anthropologie de Paris*. Paris.

MEYER V., SANTOS F., DUTAILLY B., BRUZEK J., COUTURE C. et MAUREILLE B. 2012b - 3D reconstruction of Regourdou 1 pelvis: estimation of missing parts and first

functionnal analysis. *In*: HUBLIN J.-J. et AL. (eds.), *Annual meeting of the European Society for the study of Human Evolution*. Bordeaux, p. 125.

MIKOLAJCZYK R.T., ZHANG J., BETRAN A.P., SOUZA J.P., MORI R., GÜLMEZOGLU A.M. et MERIALDI M. 2011 - A global reference for fetal-weight and birthweight percentiles. *The Lancet*, 377, p. 1855-1861.

MILES A.E.W. 1963 - The dentition in the assessment of individual age in skeletal material. *In*: BROTHWELL D. (ed.) *Dental anthropology*. London: Pergamon Press, p. 191-209.

MILES A.E.W. 2001 - The Miles method of assessing age from tooth wear revisited. *Journal of Archeological Science*, 28, p. 973-982.

MILLER D.A. 2012 - Fetal head compression. *Contemporary Ob/Gyn*, may 2012.

MILNER R.D.G. et RICHARDS B. 1974 - An analysis of birth weight by gestational age of infants born in England and Wales, 1967 to 1971. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*, 81, p. 956-967.

MINUGH-PURVIS N. et RADOVCIC J. 2000 - Krapina 1: a juvenile Neandertal from the early late Pleistocene of Croatia. *American Journal of Physical Anthropology*, p. 393-424.

MOLNAR S. 1971 - Human tooth wear, tooth function and cultural variability. *American Journal of Physical Anthropology*, 34, p. 175-189.

MOLNAR S. et MOLNAR I.M. 1990 - Dental arch shape and tooth wear variability. *American Journal of Physical Anthropology*, 82, p. 385-396.

MONTAGU A. 1989 - *Growing Young*. 2nd edition édition. Grandy, Massachusetts: Bergin and Garvey Publishers, 303 p.

MOUCHEL J. 2000 *Conséquences potentielles de la grossesse et de l'accouchement sur la statique pelvienne* - 18è journées de Gynécologie de Nice et de la Côte d'Azur, Nice.

MUGLIA L.J. et KATZ M. 2010 - The enigma of spontaneous preterm birth. *New England Journal of Medicine*, 362, p. 529-535.

MURAIL P., BRUZEK J., HOUËT F. et CUNHA E. 2005 - DSP: a tool for probalistic sex dianosis using worldwide variability in hip-bone measurements. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 17, p. 167-176.

MURPHY D.J., LIEBLING R.E., VERITY L., SWINGLER R. et PATEL R. 2001 - Early maternal and neonatal morbidity associated with operative delivery in second stage of labour: a cohort study. *The Lancet*, 358, p. 1203-1207.

MURRAY L.J., O'REILLY D.P.J., BETTS N., PATTERSON C.C., SMITH G.D. et EVANS A.E. 2000 - Season and outdoor ambient temperature: effects on birth weight. *Obstetrics & Gynecology*, 96, p. 689-695.

MUSSINI C. 2011 - *Les restes humains moustériens des Pradelles (marillac-le-Franc, Charentes, France) : étude morphométrique et réflexion sur aspect comportemental des Néandertaliens* (inédit). Bordeaux: Université Bordeaux 1, 2011. 475p.: Anthropologie Biologique.

NAPIER J.R. 1967 - Evolutionary aspects of primate locomotion. *American Journal of Physical Anthropology*, 27, p. 333-341.

NEESER R., ACKERMANN R.R. et GAIN J. 2009 - Comparing the accuracy and precision of three techniques used for estimating missing landmarks when reconstructing fossil hominin crania. *American Journal of Physical Anthropology*, 140, p. 1-18.

NEUBAUER S., GUNZ P., MITTEROECKER P. et WEBER G.W. 2004 - Three-dimensional digital imaging of the partial *Australopithecus africanus* endocranium MLD 37/38. *Canadian Asociation of Radiologists Journal*, 55, p. 271-278.

NEVES A.G.M. et SERVA M. 2012 - Extremely rare interbreeding events can explain Neanderthal DNA in living humans. *PLoS ONE*, 7, p. e47076.

NICHOLSON C. 1945 - The two main diameters at the brim of the female pelvis. *Journal of Anatomy*, 79, p. 131-135.

NORMAN S., TUULI M., ODIBO A., CAUGHEY A., ROEHL K. et CAHILL A. 2012 - Obese women have longer duration of the first stage of labor. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 206, p. S149-S150.

NOVAK L.M. 2010 - *Sexual dimophism of the posterior pelvis of the Robert J. Terry anatomical collection and William M. Bass donated skeletal collection* (inédit). Orlando: University of Central Florida, 2010. 88p.: Department of Anthropology.

NOWAK R., PORTER R., LEVY F., ORGEUR P. et SCHAAL B. 2000 - Role of mother-young interactions in the survival of offspring in domestic mammals. *Reviews of Reproduction*, 5, p. 153-163.

NUGER R.L. 2008 - *The influence of climate on the obstetrical dimensions of the human bony pelvis* (inédit). New York: University of New York, 2008. 157p. Ph.D: Anthropology.

OAKLEY K.P., CAMPBELL B.G. et MOLLESON T.I. 1971 - *Catalogue of Fossil Hominids. Part II : Europe*. Londres: Trustees of the British Museum (Natural History).

O'DONNEL E. 2004 - Birthing in Prehistory. *Journal of Anthropological Archaeology*, 23, p. 163-171.

OESTERGAARD M.Z., INOUE M., YOSHIDA S., MAHANANI W.R., GORE F.M., COUSENS S., LAWN J.E. et MATHERS C.D. 2011 - Neonatal mortality levels for 193 countries in 2009 with trends since 1990: a systematic analysis of progress, projections, and priorities. *PLoS Med*, 8, p. 1001080.

OGILVIE M.D., CURRAN B.K. et TRINKAUS E. 1989 - Incidence and patterning of dental enamel hypoplasia among the Neandertals. *American Journal of Physical Anthropology*, 79, p. 25-41.

OKONOFUA F. 2009 - Management of neglected shoulder presentation. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*, 116, p. 1695-1696.

OLCESE J. 2012 - Circadian aspects of mammalian parturition: A review. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 349, p. 62-67.

OLDREIVE W.L. 1996 - A critical review of the literature on the anatomy and biomechanics of the sacroiliac joint. *Journal of Manual & Manipulative Therapy*, 4, p. 157-165.

O'LEARY J.A. 2009a - Infant injury. *In*: O'LEARY J. A. (ed.) *Shoulder Dystocia and Birth Injury*. New York: Humana Press, p. 129-143.

O'LEARY J.A. 2009b - Pelvimetry. *In*: O'LEARY J. A. (ed.) *Shoulder Dystocia and Birth Injury*. New-York: Humana Press, p. 59-68.

OLIVIER G. 1960 - *Pratique anthropologique*. Paris: Vigot Frères, 299 p.

OMS 1993 *Classification statistique internationales des maladies et des problèmes de santé connexes* - OMS, Genève, 139-141 p.

OMS 2012a *Mortalité maternelle - Aide-mémoire n°348* - OMS, Genève.

OMS 2012b *Nouveaux-nés : réduire la mortalité - Aide-mémoire n°333* - OMS, Genève.

ORBAN-SEGEBARTH R. 1984 - Procédé métrique pour la diagnose du sexe de l'os coxal. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, XIVè série, p. 5-12.

ORLANDO L., DARLU P., TOUSSAINT M., BONJEAN D., OTTE M. et HÄNNI C. 2006 - Revisiting Neandertal diversity with a 100,000 year old mtDNA sequence. *Current Biology*, 16, p. R400-R402.

OTTE M. 1993 - *Préhistoire des religions*. Paris: Masson, 140 p.

PAP I., TILLIER A.-M., ARENSBURG B. et CHECH M. 1996 - The Subalyuk Neanderthal remains (Hungary) : a re-examination. *Annales Historico-naturales Musei Nationalis Hungarici*, 88, p. 233-270.

PAP I., TILLIER A.-M., ARENSBURG B., WEINER S. et CHECH M. 1995 - First scanning electron microscope analysis of dental calculus from european neanderthals: Subalyuk, (Middle Paleolithic, Hungary). *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris.*, n.s. t.7, p. 69-72.

PARENTE M.P.L., NATAL JORGE R.M., MASCARENHAS T., FERNANDES A.A. et MARTINS J.A.C. 2009 - The influence of the material properties on the biomechanical behavior of the pelvic floor muscles during vaginal delivery. *Journal of Biomechanics*, 42, p. 1301-1306.

PARENTE R., BERGQVIST L.L., SOARES M. et FILHO O. 2011 - The history of vaginal birth. *Archives of Gynecology and Obstetrics*, 284, p. 1-11.

PATEL R.R., STEER P., DOYLE P., LITTLE M.P. et ELLIOTT P. 2004 - Does gestation vary by ethnic group? A London-based study of over 122,000 pregnancies with spontaneous onset of labour. *International Journal of Epidemiology*, 33, p. 107-113.

PATERNOTTE J., POTIN J., DIGUISTO C., NEVEU M.-N. et PERROTIN F. 2012 - Accouchement sur le côté. Etude comparative chez les grossesses à bas risque entre décubitus latéral et dorsal lors de la phase expulsive des accouchements eutociques. *Gynécologie Obstétrique et Fertilité*, 40, p. 279-283.

PATTINSON R.C. 2000 - Pelvimetry for fetal cephalic presentations at term. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2.

PEARSON O.M., CORDERO R.M. et BUSBY A.M. 2008 - How different were Neanderthals' habitual activities? A comparative analysis with diverse groups of recent humans. *In*: HARVARTI K. et HARRISON T. (eds.), *Neanderthals Revisited: New Approaches and Perspectives.* Dordrecht: Springer, p. 135-156.

PECORARI D. 1999 - A guest editorial from abroad: meditations on a nightmare of modern midwifery: shoulder dystocia. *Obstetrical & Gynecological Survey*, 54, p. 353-354.

PEL J.J.M., SPOOR C.W., GOOSSENS R.H.M. et POOL-GOUDZWAARD A.L. 2008 - Biomechanical model study of pelvic belt influence on muscle and ligament forces. *Journal of Biomechanics*, p. 1878-1884.

PHULL H.S., PAN H.Q., BUTLER R.S., HANSEL D.E. et DAMASER M.S. 2011 - Vulnerability of continence structures to injury by simulated childbirth. *American Journal of Physiology - Renal Physiology*, 301, p. F641-F649.

PICKFORD M. et CHIARELLI A. 1986 - Sexual dimorphism in primates: where are we and where do we go from here? *Human Evolution*, 1, p. 1-5.

PIONTEK J. 2003 - Two models of adaptive strategies of the Neolithic populations from central Europe and their biological consequences. *In*: BRUZEK J., VANDERMEERSCH B. et GARRALDA M. D. (eds.), *Changements biologiques et culturels en Europe de la fin du Paléolithique moyen au Néolithique.* Prague: LAPP-Repro, p. 169-183.

PIVETEAU J. 1959 - Les restes humains de la grotte de Regourdou (Dordogne). *C.R. de l'Académie des Sciences, Paris*, série D, p. 40-44.

PIVETEAU J. 1963 - La grotte de Regourdou (Dordogne). *Annales de Paléontologie*, t. XLIX, p. 285-304.

PIVETEAU J. 1964 - La grotte de Regourdou (Dordogne). Paléontologie humaine. *Annales de paléontologie (Vertébrés)*, L, p. 155-194.

PIVETEAU J. 1966 - La grotte de Regourdou (Dordogne). Paléontologie humaine. *Annales de paléontologie*, LII, p. 163-194.

PLAVCAN J.M. 2001 - Sexual dimorphism in Primate evolution. *Yearbook of Physical Anthropology*, p. 25-53.

PLAVCAN J.M. 2003 - Scaling relationships between craniofacial sexual dimorphism and body mass dimorphism in primates: Implications for the fossil record. *American Journal of Physical Anthropology*, 120, p. 38-60.

PLAVCAN J.M., LOCKWOOD C.A., KIMBEL W.H., LAGUE M.R. et HARMON E.H. 2005 - Sexual dimorphism in *Australopithecus afarensis* revisited: How strong is the case for a human-like pattern of dimorphism? *Journal of Human Evolution*, 48, p. 313-320.

PLOCHOCKI J.H. 2002 - Directional bilateral asymmetry in human sacral morphology. *International Journal of Osteoarchaeology*, 12, p. 349-355.

PLOCHOCKI J.H. 2004 - Bilateral variation in limb articular surface dimensions. *American Journal of Human Biology*, 16, p. 328-333.

PLUNKETT J., DONIGER S., ORABONA G., MORGAN T., HAATAJA R., HALLMAN M., PUTTONEN H., MENON R., KUCZYNSKI E., NORWITZ E., SNEGOVSKIKH V., PALOTIE A., PELTONEN L., FELLMAN V., DEFRANCO E.A., CHAUDHARI B.P., MCGREGOR T.L., MCELROY J.J., OETJENS M.T., TERAMO K., BORECKI I., FAY J. et MUGLIA L. 2011 - An evolutionary genomic approach to identify genes involved in Human birth timing. *PLoS Genet*, 7, p. e1001365.

POLK J.D. 2004 - Influences of limb proportions and body size on locomotor kinematics in terrestrial primates and fossil hominins. *Journal of Human Evolution*, 47, p. 237-252.

PONCE DE LEÓN M.S., GOLOVANOVA L., DORONICHEV V., ROMANOVA G., AKAZAWA T., KONDO O., ISHIDA H. et ZOLLIKOFER C.P.E. 2008 - Neanderthal brain size at birth provides insights into the evolution of human life history. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105, p. 13764-13768.

PONCE DE LEÓN M.S. et ZOLLIKOFER C.P.E. 1999 - New evidence from Le Moustier 1: computer-assisted reconstruction and morphometry of the skull. *The Anatomical Record*, 254, p. 474-489.

PONCE DE LEÓN M.S. et ZOLLIKOFER C.P.E. 2001 - Neanderthal cranial ontogeny and its implications for late hominid diversity. *Nature*, p. 534-538.

POUJADE O., MOGEL L. et CECCALDI P.-F. 2011 - *Gynécologie Obstétrique*. Paris: Ellipses, 439 p.

PU F., XU L., LI D., LI S., SUN L., WANG L. et FAN Y. 2011 - Effect of different labor forces on fetal skull molding. *Medical Engineering & Physics*, 33, p. 620-625.

QUAM R.M. et SMITH F.H. 1998 - A reassesment of the Tabun C2 mandible. *In*: AKAZAWA T., AOKI K. et BAR-YOSEF O. (eds.), *Neandertals and modern Humans in Western Asia*. New York: Plenum Press, p. 405-421.

QUIGLEY E.M. 2007 - Impact of pregnancy and parturition on the anal sphincters and pelvic floor. *Best Practice & Research Clinical Gastroenterology*, 21, p. 879-891.

RAAIJMAKERS Q.A.W. 1999 - Effectiveness of different missing data treatments in surveys with Liker-type data: introducing the relative mean substitution approach. *Educational and Psychological Measurement*, 59, p. 725-748.

RACINET C. 2005 - Positions maternelles pour l'accouchement. *Gynécologie Obstétrique & Fertilité*, 33, p. 533-538.

RADOVCIC J., SMITH F.H., TRINKAUS E. et WOLPOFF M.H. 1988 - *The Krapina Hominids: an illustrated catalog of skeletal collection*. Zagreb: Mladost, 118 p.

RAGNAR I., ALTMAN D., TYDÉN T. et OLSSON S.-E. 2006 - Comparison of the maternal experience and duration of labour in two upright delivery positions: a randomised controlled trial. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*, 113, p. 165-170.

RAICHLEN D.A., GORDON A.D., HARCOURT-SMITH W.E.H., FOSTER A.D. et HAAS W.R., JR 2010 - Laetoli footprints preserve earliest direct evidence of Human-like bipedal biomechanics. *PLoS ONE*, 5, p. e9769.

RAK Y. 1990 - On the differences between two pelvises of Mousterian context From the Qafzeh and Kebara caves, Israel. *American Journal of Physical Anthropology*, p. 323-332.

RAK Y. 1991a - Lucy's pelvic anatomy: its role in bipedal gait. *Journal of Human Evolution*, 20, p. 283-290.

RAK Y. 1991b - The pelvis. *In*: BAR YOSEF O. et VANDERMEERSCH B. (eds.), *Le squelette moustérien de Kebara 2*. Paris: Editions du CNRS, p. 147-165.

RAK Y. 1993 - Morphological variation in *Homo neanderthalensis* and *Homo sapiens* in the Levant: a biographic model. *In*: KIMBEL W. H. et MARTIN L. B. (eds.), *Species, species concepts, and primate evolution*. New-York: Plenum Press, p. 523-536.

RAK Y. 1998 - Does any Mousterian cave present evidence of two Hominid species ? *In*: AKAZAWA T., AOKI K. et BAR YOSEF O. (eds.), *neandertals and Modern Humans in Western Asia*. New-York: Plenum Press, p. 353-366.

RAK Y. et ARENSBURG B. 1987 - Kebara 2 Neanderthal pelvis: first look at a complete inlet. *American Journal of Physical Anthropology*, p. 227-231.

RATHGEBER T. 2006 - Fossile Menschenreste aus des Sesselfelsgrotte im unteren Altmühltal (Bayern, Bundesrepublik Deutschland). *Quartär*, 53-54, p. 33-59.

RAYNAL P., LE MEAUX J.-P. et CHÉREAU E. 2005 - Évolution anthropologique du bassin osseux des femmes. *Gynécologie Obstétrique et Fertilité*, p. 464-468.

READER S.M. et LALAND K.N. 2002 - Social intelligence, innovation, and enhanced brain size in primates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99, p. 4436-4441.

RECHEIS W., WEBER G.W., SCHÄFER K., KNAPP R., SEIDLER H. et ZUR NEDDEN D. 1999 - Virtual reality and anthropology. *European Journal of Radiology*, 31, p. 88-96.

RELETHFORD J.H. et HODGES D.C. 1985 - A statistical test for differences in sexual dimorphism between populations. *American Journal of Physical Anthropology*, p. 55-61.

REMPEN A. et KRAUS M. 1991 - Pressures on the fetal head during normal labor. *Journal of Perinatal Medicine*, 19, p. 199-206.

RENO P.L., MEINDL R.S., MCCOLLUM M.A. et LOVEJOY C.O. 2003 - Sexual dimorphism in *Australopithecus afarensis* was similar to that of modern humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100, p. 9404-9409.

REYNOLDS E.L. 1931 - The evolution of the human pelvis in relation to the mechanics of the erect posture. *Papers of the Peabody Museum of American Archaeology and Ethnology University*, 11, p. 255-334.

RICE F. et THAPAR A. 2010 - Estimating the relative contributions of maternal genetic, paternal genetic and intrauterine factors to offspring birth weight and head circumference. *Early Human Development*, 86, p. 425-432.

RICHARDS L.C. et MILLER S.L.J. 1991 - Relationship between age and dental attrition in Australian Aboriginals. *American Journal of Physical Anthropology*, 84, p. 159-164.

RICHARDS M. 2002 - A brief review of the archaeological evidence for Palaeolithic and Neolithic subsistence. *European Journal of Clinical Nutrition*, 56, p. 1262-1273.

RICHARDS M.P., SCHULTING R.J. et HEDGES R.E.M. 2003 - Archaeology: sharp shift in diet at onset of Neolithic. *Nature*, 425, p. 366.

RICHARDS M.P., TAYLOR G., STEELE T., MCPHERRON S.P., SORESSI M., JAUBERT J., ORSCHIEDT J., MALLYE J.B., RENDU W. et HUBLIN J.J. 2008 - Isotopic dietary analysis of a Neanderthal and associated fauna from the site of Jonzac (Charente-Maritime), France. *Journal of Human Evolution*, 55, p. 179-185.

RICKENMANN E. 1957 - *Beiträge zur vergleichenden Anatomie insbesondere des Beckens bei Catarrhinen.* Basel: Karger, 118 p.

RIDLEY M. 1995 - Brief communication: pelvic sexual dimorphism and relative neonatal brain size really are related. *American Journal of Physical Anthropology*, p. 197-200.

RIEGGER-KRUGH C. et KEYSOR J.J. 1996 - Skeletal malalignments of the lower quarter: correlated and compensatory motions and postures. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 23, p. 164-170.

RIGHTMIRE G.P. 2004 - Brain size and encephalization in early to Mid-Pleistocene Homo. *American Journal of Physical Anthropology*, 124, p. 109-123.

ROBINSON J.T. 1972 - *Early Hominid Posture and Locomotion.* Chicago, London: Univ. Chicago Press, 361 p.

ROBSON S.L. et WOOD B. 2008 - Hominin life history: reconstruction and evolution. *Journal of Anatomy*, 212, p. 394-425.

ROCHE A.F. 1979 - Secular trends in stature, weight and maturation. *Monographs of the Society for research in Child Development*, 44, p. 3-27.

ROCKWELL L.C., VARGAS E. et MOORE L.G. 2003 - Human physiological adaptation to pregnancy: inter- and intraspecific perspectives. *American Journal of Human Biology*, 15, p. 330-341.

ROSE M.D. 1984 - A Hominine Hip Bone, KNM-ER 3228, From East Lake Turkana, Kenya. *American Journal of Physical Anthropology*, p. 371-378.

ROSENBERG K. 1986 - *The functional significiance of neandertal pubic morphology* (inédit). Ann Arbor: University of Michigan, 1986. 237p. Doctorat: Anthropology.

ROSENBERG K. 1988 - The functional significance of Neandertal pubis length. *Current Anthropology*, 29, p. 595-617.

ROSENBERG K. 1992 - The evolution of modern Human childbirth. *Yearbook of physical anthropology*, p. 89-124.

ROSENBERG K. 2002a - A late Pleistocene human skeleton from Liujiang, China suggests regional population variation in sexual dimorphism in the human pelvis. *Variability and Evolution*, p. 5-17.

ROSENBERG K. 2002b - Morphological variation in west Asian postcrania. *In*: AKAZAWA T., AOKI K. et BAR-YOSEF O. (eds.), *Neandertals and Modern Humans in Western Asia.* New York: Plenum Press, p. 367-379.

ROSENBERG K. 2007 - Neandertal pelvic remains from Krapina: peculiar or primitive? *Periodicum Biologorum*, 109, p. 387-392.

ROSENBERG K., LU Z. et RUFF C.B. 2006 - Body size, body proportions, and encephalization in a Middle Pleistocene archaic human from northern China. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103, p. 3552-3556.

ROSENBERG K. et TREVATHAN W. 1995 - Bipedalism and human birth: the obstetrical dilemma revisited. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*, 4, p. 161-168.

ROSENBERG K. et TREVATHAN W. 2001 - The evolution of Human birth. *Scientific American Magazine*, p. 77-83.

ROSENBERG K. et TREVATHAN W. 2002 - Birth, obstetrics and human evolution. *BJOG : an International Journal of Obstetrics and Gynaecology*, p. 1199-1206.

ROSENBERG K. et TREVATHAN W. 2007 - An anthropological perspective on the evolutionary context of preeclampsia in humans. *Journal of Reproductive Immunology*, 76, p. 91-97.

ROSS A.H. et WILLIAMS S. 2008 - Testing repeatability and error of coordinate landmark data acquired from crania. *Journal of Forensic Sciences*, 53, p. 782-785.

ROUGIER H., CREVECOEUR I., FIERS E., HAUZEUR A., GERMONPRÉ M., MAUREILLE B. et SEMAL P. 2004 - Collections de la Grotte de Spy : (re)découvertes et inventaire anthropologique. *Notae Praehistoricae*, 24, p. 181-190.

ROUSE D. 2008 - Second stage labor duration: relationship to maternal and perinatal outcomes. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 199, p. S37.

ROUSSOT A. 2003 - Roger Constant et la saga du Regourdou. *Bulletin de la Société Historique et Archéologique du Périgord*, Tome CXXX, p. 359-364.

ROZENBERG P. 2007 - Is there a role for X-ray pelvimetry in the twenty-first century? *Gynecoly, obstetrics and fertility*, 35, p. 6-12.

RUFF C. 1987 - Sexual dimorphism in human lower limb bone structure: relationship to subsistence strategy and sexual division of labor. *Journal of Human Evolution*, 16, p. 391-416.

RUFF C. 1994 - Morphological adaptation to climate in modern and fossil Hominids. *Yearbook of Physical Anthropology*, p. 65-107.

RUFF C. 1995 - Biomechanics of the hip and birth in early Homo. *American Journal of Physical Anthropology*, 98, p. 527-574.

RUFF C. 2002 - Variation in Human body size and shape. *Annual Review of Anthropology*, 31, p. 211-232.

RUFF C. 2008 - Femoral/humeral strength in early African *Homo erectus*. *Journal of Human Evolution*, 54, p. 383-390.

RUFF C. 2010 - Body size and body shape in early hominins - implications of the Gona pelvis. *Journal of Human Evolution*, 58, p. 166-178.

RUFF C., TRINKAUS E. et HOLLIDAY T.W. 1997 - Body mass and encephalization in Pleistocene Homo. *Nature*, p. 173-174.

RUFF C., TRINKAUS E., WALKER A. et LARSEN C.S. 1993 - Postcranial robusticity in Homo. I: Temporal trends and mechanical interpretation. *American Journal of Physical Anthropology*, 91, p. 21-53.

RUXTON G.D. et WILKINSON D.M. 2011 - Thermoregulation and endurance running in extinct hominins: Wheeler's models revisited. *Journal of Human Evolution*, 61, p. 169-175.

SACHER G.A. 1975 - Maturation and longevity in relation to cranial capacity in Hominid evolution. *In*: TUTTLE R. H. (ed.) *Primate functional morphology and evolution*. Chicago: De Gruyter, p. 417-441.

SACHER G.A. et STAFFELDT E.F. 1974 - Relation of gestation time to brain weight for placental mammals: implications for the theory of vertebrate growth. *The American Naturalist*, 108, p. 593-615.

SALSABILI N., VALOJERDY M.R. et HOGG D.A. 1995 - Variations in thickness of articular cartilage in the human sacroiliac joint. *Clinical Anatomy*, 8, p. 388-390.

SANCHEZ-LARA P.A., CARMICHAEL S.L., GRAHAM J.M., LAMMER E.J., SHAW G.M., MA C. et RASMUSSEN S.A. 2010 - Fetal constraint as a potential risk factor for craniosynostosis. *American Journal of Medical Genetics Part A*, 152A, p. 394-400.

SANCHEZ-QUINTO F., BOTIGUÉ L.R., CIVIT S., ARENAS C., AVILA-ARCOS M.C., BUSTAMANTE C.D., COMAS D. et LALUEZA-FOX C. 2012 - North african populations carry the signature of admixture with Neandertals. *PLoS ONE*, 7, p. e47765.

SASHIN D. 1930 - A critical analysis of the anatomy and the pathologic changes of the sacro-iliac joints. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 12, p. 891-910.

SAUNDERS N.S.G., PATERSON C.M. et WADSWORTH J. 1992 - Neonatal and maternal morbidity in relation to the length of the second stage of labour. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*, 99, p. 381-385.

SAUTER M.R. et PRIVAT F. 1954 - Sur un nouveau procédé métrique de détermination sexuelle du bassin osseux. *Bulletin de la Société Suisse d'Anthropologie et d'Ethnologie*, 31è année, p. 60-84.

SAYER D. et DICKINSON S.D. 2013 - Reconsidering obstetric death and female fertility in Anglo-Saxon England. *World Archaeology*, p. 1-13.

SCHAAFFHAUSEN H. 1888 - *Der Neanderthaler Fund*. Bonn, 1-49 p.

SCHAAL J.P., ABLASSMAIER B.C., MAILLET R., AGNANI G.R. et COLETTE C. 1986 - Aspects actuels de la dystocie d'engagement. *Journal de gynecologie obstetrique et biologie de la reproduction*, 15, p. 79-86.

SCHAAL J.P., RIETHMULLER D. et MAILLET R. 1998 - *Mécanique et techniques obstétricales*. 2ème édition édition. Montpellier: Sauramps médical, 604 p.

SCHAFER J.L. et GRAHAM J.W. 2002 - Missing data: our view of the state of the art. *Psychological Methods*, 7, p. 147-177.

SCHAFER J.L. et OLSEN M.K. 1998 - Multiple imputation for multivariate missing-data problems: a data analyst's perspective. *Multivariate Behavioral Research*, 33, p. 545-571.

SCHEUER L. et BLACK S. 2000 - *Developmental juvenile osteology*. London: Elsevier. Academic Press, 587 p.

SCHIFRIN B.S. et COHEN W.R. 2009 - The maternal fetal medicine viewpoint: causation and litigation. *In*: O'LEARY J. A. (ed.) *Shoulder Dystocia and Birth Injury*. New-York: Humana Press, p. 227-247.

SCHIMPF M. et TULIKANGAS P. 2005 - Evolution of the female pelvis and relationships to pelvic organ prolapse. *International Urogynecoly Journal*, p. 315-320.

SCHMID P. 1983 - Eine Rekonstruktion des Skelettes von A.L. 288-1 (Hadar) und deren Konsequenzen. *Folia Primatologica*, 40, p. 283-306.

SCHMITT A. 2002 - Estimation de l'âge au décès des sujets adultes à partir du squelette : des raisons d'espérer. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris.*, n.s. t.14, p. 51-73.

SCHMITT A. 2005 - Une nouvelle méthode pour estimer l'âge au décès des adultes à partir de la surface sacro-pelvienne iliaque. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, n.s. t.17, p. 89-101.

SCHMITT A. et BROQUA C. 2000 - Approche probabiliste pour estimer l'âge au décès à partir de la surface auriculaire de l'ilium. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, n.s. t.12, p. 279-301.

SCHMITZ R.W., SERRE D., BONANI G., FEINE S., HILLGRUBER F., KRAINITZKI H., PÄÄBO S. et SMITH F.H. 2002 - The Neandertal type site revisited: Interdisciplinary investigations of skeletal remains from the Neander Valley, Germany. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99, p. 13342-13347.

SCHULTZ A.H. 1930 - The skeleton of the trunk and limbs of higher primates. *Human Biology*, p. 203-438.

SCHULTZ A.H. 1949 - Sex differences in the pelves of primates. *American Journal of Physical Anthropology*, 7, p. 401-424.

SCHUNKE G.B. 1938 - The anatomy and development of the sacro-iliac joint in man. *The Anatomical Record*, 72, p. 313-331.

SCOLAN H., SANTOS F., TILLIER A.-M., MAUREILLE B. et QUINTARD A. 2012 - Des nouveaux vestiges néanderthaliens à Las Pélénos (Monsempron-Libos, Lot-et-Garonne, France). *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, p. 69-95.

SCOTT S. et DUNCAN C. 2002 - *Demography and nutrition: evidence from historical and contemporary populations*. Oxford: Blackwell, 384 p.

SEGEBARTH-ORBAN R. 1979 - *Ostéométrie comparée de l'os coxal chez les anthropomorphes.* (inédit). Bruxelles: Université libre de Bruxelles, 1979. 89p.: Anthropologie et génétique humaine.

SELIN H. et STONE P.K. 2009 - *Childbirth across cultures. Ideas and Practices of Pregnancy, Childbirth and the Postpartum.* New-York: Springer, 331 p.

SEMAL P., ROUGIER H., CREVECOEUR I., JUNGELS C., FLAS D., HAUZEUR A., MAUREILLE B., GERMONPRÉ M., BOCHERENS H., PIRSON S., CAMMAERT L., DE CLERCK N., HAMBUCKEN A., HIGHAM T., TOUSSAINT M. et VAN DER PLICHT J. 2009 - New data on the late Neandertals: direct dating of the Belgian Spy fossils. *American Journal of Physical Anthropology*, 138, p. 421-428.

SEMAL P., TOUSSAINT M., MAUREILLE B., ROUGIER H., CREVECOEUR I., BALZEAU A., BOUCHNEB L., LOURYAN S., DE CLERCK N. et RAUSIN L. 2005 - Numérisation des restes humains néandertaliens belges. Préservation patrimoniale et exploitation scientifique. *Notae Praehistoricae*, 25, p. 25-38.

SESBUPPHA W., CHANTIP S., DICK E.J., SCHLABRITZ-LOUTSEVITCH N.E., GUARDADO-MENDOZA R., BUTLER S.D., FROST P.A. et HUBBARD G.B. 2008 - Stillbirths in Macaca fascicularis. *Journal of Medical Primatology*, 37, p. 169-172.

SHAW C.N. et STOCK J.T. 2011 - The influence of body proportions on femoral and tibial midshaft shape in hunter-gatherers. *American Journal of Physical Anthropology*, 144, p. 22-29.

SHAW C.N. et STOCK J.T. 2013 - Extreme mobility in the Late Pleistocene? Comparing limb biomechanics among fossil Homo, varsity athletes and Holocene foragers. *Journal of Human Evolution.*

SHEA B.T. 1989 - Heterochrony in human evolution: the case for neoteny reconsidered. *American Journal of Physical Anthropology*, 32, p. 69-101.

SHEPHERD D.E.T. et SEEDHOM B.B. 1999 - Thickness of human articular cartilage in joints of the lower limb. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 58, p. 27-34.

SIGMON B.A. 1974 - A functional analysis of pongid hip and thigh musculature. *Journal of Human Evolution*, 3, p. 161-185.

SIGMON B.A. 1982 - Comparative morphology of the locomotor skeleton of *Homo erectus* and the other fossil hominids, with special reference to the Tautavel innominate and femora. *In*: DE LUMLEY H. (ed.) *L'*Homo erectus *et la place de l'homme de Tautavel parmi les Hominidés fossiles.* Paris: CNRS, p. 422-446.

SILK J., SHORT J., ROBERTS J. et KUSNITZ J. 1993 - Gestation length in rhesus macaques (Macaca mulatta). *International Journal of Primatology*, 14, p. 95-104.

SIMARD S. 1968 - Etude paléontologique et paléoclimatique de la microfaune du Régourdou (Montignac, Dordogne, France). *Le Naturaliste Canadien*, p. 1435-1457.

SIMPSON G.G. 1961 - *Principles of animal taxonomy.* Columbia: University Press, 247 p.

SIMPSON S.W., QUADE J., LEVIN N.E., BUTLER R., DUPONT-NIVET G., EVERETT M. et SEMAW S. 2008 - A Female *Homo erectus* Pelvis from Gona, Ethiopia. *Science*, 322, p. 1089-1092.

SIMPSON S.W., SPURLOCK L.B., LOVEJOY C.O. et LATIMER B. 2010 - A new reconstruction of the KNM-WT 15000 juvenile male pelvis. *American Journal of Physical Anthropology*, 141, p. 217.

SINGH S. et POTTURI B.R. 1978 - Greater sciatic notch in sex determination. *Journal of Anatomy*, 125, p. 619-624.

SINT JAN S.V. et CROCE U.D. 2005 - Letter to the Editor. Accurate palpation of skeletal landmark locations: why standardized definitions are necessary. A proposal. *Clinical Biomechanics*, 20, p. 659-660.

SLATTERY M.M. et MORRISON J.J. 2002 - Preterm delivery. *Lancet*, 360, p. 1489-1497.

SLICE D.E. 2007 - Geometric Morphometrics. *Annual Review of Anthropology*, 36, p. 261-281.

SMITH A.R.B., HOSKER G.L. et WARRELL D.W. 1989 - The role of pudendal nerve damage in the aetiology of genuine stress incontinence in women. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*, 96, p. 29-32.

SMITH B.H. 1984 - Patterns of molar wear in hunter-gathers and agriculturalists. *American Journal of Physical Anthropology*, 63, p. 39-56.

SMITH B.H. et TOMPKINS R.L. 1995 - Toward a life history of the Hominidae. *Annual Review of Anthropology*, 24, p. 257-279.

SMITH R. 2007 - Parturition. *New England Journal of Medicine*, 356, p. 271-283.

SNELL C.A.R.D. et DONHUYSEN H.W.A. 1968 - The pelvis in the bipedalism of primates. *American Journal of Physical Anthropology*, 28, p. 239-246.

SOAMES R. 1995 - Skeletal system. *In*: WILLIAMS P. L., BANNISTER L. H., BERRY M. M., COLLINS P., DYSON M., DUSSEK J. E. et FERGUSON M. W. J. (eds.), *Gray's anatomy*. New York: Churchill Liningstone, p. 426-736.

SOCKOL M.D., RAICHLEN D.A. et PONTZER H. 2007 - Chimpanzee locomotor energetics and the origin of human bipedalism. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104, p. 12265-12269.

SOLECKI R.S. 1960 - Three adult neandertal skeletons from Shanidar Cave, northern Iraq. *Annual Reports of the Smithsonian Institute*, 1959, p. 603-635.

SOMEL M., TANG L. et KHAITOVICH P. 2012 - The Role of neoteny in human evolution: from genes to the phenotype. *In*: HIRAI H., IMAI H. et GO Y. (eds.), *Post-genome biology of primates*. Tokyo: Springer, p. 23-41.

SORBE B. et DAHLGREN S. 1983 - Some important factors in the molding of the fetal head during vaginal delivery - A photographic study. *International journal of gynaecology and obstetrics: the official organ of the International Federation of Gynaecology and Obstetrics*, 21, p. 205-212.

SØRENSEN B. 2011 - Demography and the extinction of European Neanderthals. *Journal of Anthropological Archaeology*, 30, p. 17-29.

SPOOR C.F., ZONNEVELD F.W. et MACHO G.A. 1993 - Linear measurements of cortical bone and dental enamel by computed tomography: Applications and problems. *American Journal of Physical Anthropology*, 91, p. 469-484.

SPOOR F., JEFFERY N. et ZONNEVELD F. 2000 - Using diagnostic radiology in human evolutionary studies. *Journal of Anatomy*, 197, p. 61-76.

SPOOR F., LEAKEY M.G., GATHOGO P.N., BROWN F.H., ANTON S.C., MCDOUGALL I., KIARIE C., MANTHI F.K. et LEAKEY L.N. 2007 - Implications of new early Homo fossils from Ileret, east of Lake Turkana, Kenya. 448, p. 688-691.

SPRENT P. et SMEETON N.C. 2007 - *Applied Nonparametric Statistical Methods*. 4 édition. Londres: Chapman and Hall, 544 p.

STANLEY S.M. 1992 - An ecological theory for the origin of Homo. *Paleobiology*, 18, p. 237-257.

STECKEL R.H., ROSE J.C., SPENCER LARSEN C. et WALKER P.L. 2002 - Skeletal health in the Western Hemisphere from 4000 B.C. to the present. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*, 11, p. 142-155.

STEEGMANN A.T., CERNY F.J. et HOLLIDAY T.W. 2002 - Neandertal cold adaptation: Physiological and energetic factors. *American Journal of Human Biology*, 14, p. 566-583.

STEER P. et FLINT C. 1999 - Physiology and management of normal labour. *BMJ*, 318, p. 793-796.

STEFANOVIC S. 2006 - The domestication of human birth. *Documenta Praehistorica XXXIII (2006)*, XXXIII, p. 159-164.

STERN J.T. 1972 - Anatomical and functional specializations of the human gluteus maximus. *American Journal of Physical Anthropology*, 36, p. 315-339.

STERN J.T. et SUSMAN R.L. 1983 - The locomotor anatomy of *Australopithecus afarensis*. *American Journal of Physical Anthropology*, 60, p. 279-317.

STEUDEL-NUMBERS K.L. 2006 - Energetics in *Homo erectus* and other early hominins: The consequences of increased lower-limb length. *Journal of Human Evolution*, 51, p. 445-453.

STEUDEL-NUMBERS K.L. et TILKENS M.J. 2004 - The effect of lower limb length on the energetic cost of locomotion: implications for fossil hominins. *Journal of Human Evolution*, 47, p. 95-109.

STEWART J.R. 2004 - Neanderthal-modern human competition? A comparison between the mammals associated with Middle and Upper Palaeolithic industries in Europe during OIS 3. *International Journal of Osteoarchaeology*, 14, p. 178-189.

STEWART T.D. 1938 - Accessory sacro-iliac articulations in the higher primates and their significance. *American Journal of Physical Anthropology*, 24, p. 43-59.

STEWART T.D. 1960 - Form of the pubic bone in Neanderthal Man. *Science*, 131, p. 1437-1438.

STOCK J.T. 2006 - Hunter-gatherer postcranial robusticity relative to patterns of mobility, climatic adaptation, and selection for tissue economy. *American Journal of Physical Anthropology*, 131, p. 194-204.

STOCKINGER D.E., TORRENCE A.E., HUKKANEN R.R., VOGEL K.W., HOTCHKISS C.E. et HA J.C. 2011 - Risk factors for dystocia in pigtailed Macaques (Macaca nemestrina). *Comparative Medicine*, 61, p. 170-175.

STOCKWELL R.A. 1971 - The interrelationship of cell density and cartilage thickness in mammalian articular cartilage. *Journal of Anatomy*, 109, p. 411-421.

STOTLAND N., WASHINGTON A.E. et CAUGHEY A. 2006 - Pre-pregnancy body mass index and length of gestation at term. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 195, p. S110.

STRAUS W.L. 1927 - The human ilium : sex and stock. *American Journal of Physical Anthropology*, 11, p. 1-28.

STRAUSS R.E. et ATANASSOV M.N. 2006 - Determining best complete subsets of specimens and characters for multivariate morphometric studies in the presence of large amounts of missing data. *Biological Journal of the Linnean Society*, 88, p. 309-328.

STRAUSS R.E., ATANASSOV M.N. et DE OLIVEIRA J.A. 2003 - Evaluation of the principal-component and expectation-maximization methods for estimating missing data in morphometric studies. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 23, p. 284-296.

STRINGER C.B. et TRINKAUS E. 1981 - The Shanidar Neanderthal crania. *In*: STRINGER C. B. (ed.) *Aspects of Human evolution*. London: Taylor and Francis, p. 129-165.

SUSMAN R.L., STERN J.R. et ROSE M.D. 1983 - Morphology of KNM-ER 3228 and OH 28 innominates from East Africa. *American Journal of Physical Anthropology*, 60, p. 259.

SUZUKI H. et TAKAI F. 1970 - *The Amud man and his cave site*. Tokyo: The University of Tokyo, 530 p.

SVENNINGSEN L., LINDEMANN R. et EIDAL K. 1988 - Measurements of Fetal Head Compression Pressure During Bearing Down and Their Relationship to the Condition of the Newborn. *Acta Obstetricia et Gynecologica Scandinavica*, 67, p. 129-133.

SYLVESTER A.D., MERKL B.C. et MAHFOUZ M.R. 2008 - Assessing A.L. 288-1 femur length using computer-aided three-dimensional reconstruction. *Journal of Human Evolution*, p. 665-671.

TAGUE R.G. 1989 - Variation in pelvic size between males and females. *American Journal of Physical Anthropology*, 80, p. 59-71.

TAGUE R.G. 1991 - Commonalities in dimorphism and variability in the anthropoid pelvis, with implications for the fossil record. *Journal of Human Evolution*, 21, p. 153-176.

TAGUE R.G. 1992 - Sexual dimorphism in the human bony pelvis, with a special consideration of the Neandertal pelvis from Kebara Cave, Israel. *American Journal of Physical Anthropology*, 88, p. 1-21.

TAGUE R.G. 1994 - Maternal mortality or prolonged growth: Age at death and pelvic size in three prehistoric Amerindian populations. *American Journal of Physical Anthropology*, 95, p. 27-40.

TAGUE R.G. 2000 - Do Big Females Have Big Pelves? *American Journal of Physical Anthropology*, p. 377-393.

TAGUE R.G. 2005 - Big-bodied males help us recognize that females have big pelves. *American Journal of Physical Anthropology*, 127, p. 392-405.

TAGUE R.G. 2007 - Costal process of the first sacral vertebra: sexual dimorphism and obstetrical adaptation. *American Journal of Physical Anthropology*, 132, p. 395-405.

TAGUE R.G. 2012 - Small anatomical variant has profound implications for evolution of human birth and brain development. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, p. 8360-8361.

TAGUE R.G. et LOVEJOY C.O. 1986 - The obstetric pelvis of A.L. 288-1 (Lucy). *Journal of Human Evolution*, 15, p. 237-255.

TAGUE R.G. et LOVEJOY C.O. 1998 - Al 288-1. Lucy or Lucifer ? Gender Confusion in the Pliocene. *Journal of Human Evolution*, p. 75-94.

TAKAHASHI H. 2006 - Curvature of the greater sciatic notch in sexing the human pelvis. *Anthropological Science*, 114, p. 187-191.

TARDIEU C. 1998 - Short adolescence in early hominids: infantile and adolescent growth of the human femur. *American Journal of Physical Anthropology*, 107, p. 163-178.

TATE J.R. et CANN C.E. 1982 - High-resolution computed tomography for the comparative study of fossil and extant bone. *American Journal of Physical Anthropology*, 58, p. 67-73.

TATTERSALL I. 2007 - L'extinction des Néandertaliens. *In*: VANDERMEERSCH B. et MAUREILLE B. (eds.), *Les Néandertaliens. Biologie et cultures.* vol. 23. Paris: Editions du CTHS, p. 117-130.

TENENHAUS M. 1998 - *La régression PLS : théorie et pratique*. Paris: Technip, 254 p.

TETZSCHNER T., SORENSEN M., JONSSON L., LOSE G. et CHRISTIANSEN J. 1997 - Delivery and pudendal nerve function. *Acta Obstetricia et Gynecologica Scandinavica*, 76, p. 324-331.

THOMA A. 1957 - Métissage ou transformation ? Essai sur les Hommes fossiles de Palestine. *L'Anthropologie*, 61, p. 470-502.

THOMA A. 1958 - Métissage ou transformation ? Essai sur les Hommes fossiles de Palestine. *L'Anthropologie*, 62, p. 30-51.

THOMA A. 1965 - La définition des Néandertaliens et la position des hommes fossiles de Palestine. *L'anthropologie*, 69, p. 519-534.

THOR K.B. et DE GROAT W.C. 2010 - Neural control of the female urethral and anal rhabdosphincters and pelvic floor muscles. *American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 299, p. R416-R438.

TILLIER A.-M. 1983 - Le crâne d'enfant d'Engis 2 : un exemple de distrinution des caractères juvéniles, primitifs et néanderthaliens. *Bulletin de la Société royale Belge d'Anthropologie et de Préhistoire*, p. 51-75.

TILLIER A.-M. 1987 - L'enfant de la Quina H18 et l'ontogénie des Néanderthaliens. *In*: VANDERMEERSCH B., DEBENATH A. E. A. et AL (eds.), *Préhistoire de Poitou-Charentes, problèmes actuels*. Paris: Editions du CTHS, p. 201-206.

TILLIER A.-M. 1995 - Paléoanthropologie et pratiques funéraires au Levant méditerranéen durant le Paléolithique moyen : le cas des sujets non-adultes. *Paléorient*, 21, p. 63-76.

TILLIER A.-M. 1996 - The Pech de l'Azé and Roc de Marsal children (Middle Paleolithic, France): skeletal evidence for variation in Neanderthal ontogeny. *Human Evolution*, 11, p. 113-119.

TILLIER A.-M. 1998 - Ontogenetic variation in late Pleistocene *Homo sapiens* from the Near east. *In*: AKAZAWA T., AOKI K. et BAR-YOSEF O. (eds.), *Neandertals and modern Humans in Western Asia*. New York: Plenum Press, p. 381-389.

TILLIER A.-M. 1999 - *Les enfants moustériens de Qafzeh. interprétation phylogénétique et paléoauxologique*. Paris: Editions du CNRS, 239 p.

TILLIER A.-M. 2000a - Children in the past. Palaeoauxology, demographic anomalies, taphonomy and mortuary practices. *Anthropologie - International Journal of the Science of Man*, XXXVIII, p. 1-4.

TILLIER A.-M. 2000b - Palaeoauxology applied to Neanderthals. Similarities and contrasts between neanderthal and modern human children. *Anthropologie - International Journal of the Science of Man*, XXXVIII, p. 109-120.

TILLIER A.-M. 2005 - The Tabun C1 skeleton: a levantine Neanderthal ? *Journal of the Israel Prehistoric Society*, 35, p. 439-450.

TILLIER A.-M. 2007 - Naître et grandir en Europe au Paléolithique moyen. L'exemple des Néandertaliens. *In*: MAUREILLE B. (ed.) *Les Néandertaliens. Biologie et cultures.* vol. 23. Paris: Editions du CTHS, p. 139-149.

TILLIER A.-M., ARENSBURG B. et BRUZEK J. 2008 - Identité biologique des artisans moustériens de Kebara (Mont Carmel, Israël). Réflexions sur le concept de Néanderthalien au levant méditerranéen. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 20, p. 33-58.

TILLIER A.-M., MAJO T. et BRUZEK J. 1995 - Limites d'une approche "bio-culturelle" des populations anciennes : l'exemple du complexe femoro-pelvien des Néandertaliens. *In*: OTTE M. (ed.) *Nature et Culture, colloque de Liège*. Liège.

TOMPKINS R.L. et TRINKAUS E. 1987 - La Ferrassie 6 and the development of Neandertal pubic morphology. *American Journal of Physical Anthropology*, 73, p. 233-239.

TOUSSAINT M. sous presse - The Spy Neandertal spine remains. Sacrum and one lumbar vertebra. *In*: ROUGIER H. (ed.) *Spy Cave Human remains*.

TOWNER D., CASTRO M.A., EBY-WILKENS E. et GILBERT W.M. 1999 - Effect of mode of delivery in nulliparous women on neonatal intracranial injury. *New England Journal of Medicine*, 341, p. 1709-1714.

TRESP V., NEUNEIER R. et AHMAD S. 1995 - Effcient methods for dealing with missing data in supervised learning. *In*: TESAURO G., TOURETZKY D. S. et LEE T. K. (eds.), *Advances in Neural Information Processing Systems 7*. Cambridge MA: MIT Press, p. 1167.

TREVATHAN W. 1987 - *Human birth: an evolutionary perspective*. Première édition. New-York: Aldine de Gruyter, 268 p.

TREVATHAN W. 1988 - Fetal emergence patterns in evolutionary perspective. *American Anthropologist*, 90, p. 674-681.

TREVATHAN W. 2010 - *Ancient bodies, modern lives: how evolution has shaped women's health*. Oxford: Oxford University Press, 269 p.

TREVATHAN W. 2011 - *Human birth: an evolutionary perspective*. Seconde édition. New-York: Aldine Transaction, 286 p.

TREVATHAN W. et ROSENBERG K.R. 2000 - The shoulders follow the head: postcranial constraints on human childbirth. *Journal of Human Evolution*, 39, p. 583-586.

TRINKAUS E. 1976 - The morphology of European and South-West Asian Neandertal pubic bones. *American Journal of Physical Anthropology*, p. 95-104.

TRINKAUS E. 1980 - Sexual differences in Neanderthal limb bones. *Journal of Human Evolution*, 9, p. 377-397.

TRINKAUS E. 1981 - Neanderthal limb proportions and cold adaptation. *In*: STRINGER C. B. (ed.) *Aspects of Human Evolution*. Londres: Taylor and Francis, p. 187-224.

TRINKAUS E. 1982 - The Shanidar 3 Neandertal. *American Journal of Physical Anthropology*, 57, p. 37-60.

TRINKAUS E. 1983 - *The Shanidar Neandertals*. New-York: Academic Press, 502 p.

TRINKAUS E. 1984 - Neandertal pubic morphology and gestation length. *Current Anthropology*, 25, p. 509-514.

TRINKAUS E. 1985a - Pathology and the posture of the La Chapelle-aux-Saints Neandertal. *American Journal of Physical Anthropology*, 67, p. 19-41.

TRINKAUS E. 1985b - Reply to "On the Neandertal pubis and acromegaly". *Current Anthropology*, 26, p. 526-529.

TRINKAUS E. 1986 - The Neanderthals and modern human origins. *Annual Review of Anthropology*, 15, p. 193-218.

TRINKAUS E. 2000 - Human patellar articular proportions: recent and Pleistocene patterns. *Journal of Anatomy*, 196, p. 473-483.

TRINKAUS E. 2007 - Activité, stress et survie chez les Néandertaliens. *In*: VANDERMEERSCH B. et MAUREILLE B. (eds.), *Les Néandertaliens. Biologie et cultures.* vol. 23. Paris: Editions du CTHS, p. 131-137.

TRINKAUS E. 2011 - The postcranial dimensions of the La Chapelle-aux-saints 1 Neandertal. *American Journal of Physical Anthropology*, 145, p. 461-468.

TRINKAUS E. 2012 - Brief communication: The human humerus from the Broken Hill Mine, Kabwe, Zambia. *American Journal of Physical Anthropology*, 149, p. 312-317.

TRINKAUS E. et RUFF C.B. 1999a - Diaphyseal cross-sectional geometry of Near Eastern middle Palaeolithic Humans: the femur. *Journal of Archaeological Science*, 26, p. 409-424.

TRINKAUS E. et RUFF C.B. 1999b - Diaphyseal cross-sectional geometry of Near Eastern middle Palaeolithic Humans: the tibia. *Journal of Archaeological Science*, 26, p. 1289-1300.

TRINKAUS E. et RUFF C.B. 2012 - Femoral and tibial diaphyseal cross-sectional geometry in Pleistocene Homo. *PaleoAnthropology*, 2012, p. 13-62.

TRINKAUS E. et TOMPKINS R.L. 1990 - The Neandertal life cycle: the possibility, probability and perceptibility of contrasts with recent humans. *In*: DEROUSSEAU C. J. (ed.) *Primate Life History and Evolution*. New-York: Wiley-Liss, p. 153-180.

TROTTER M. 1926 - The sacrum and sex. *American Journal of Physical Anthropology*, 9, p. 445-450.

TROTTER M. 1937 - Accessory sacro-iliac articulations. *American Journal of Physical Anthropology*, 22, p. 247-261.

TROTTER M. et GLESER G.C. 1952 - Estimation of stature from long bones of American Whites and Negroes. *American Journal of Physical Anthropology*, p. 463-514.

TU J., TU W. et TEDDERS S.H. 2012 - Spatial variations in the associations of birth weight with socioeconomic, environmental, and behavioral factors in Georgia, USA. *Applied Geography*, 34, p. 331-344.

TURQ A., JAUBERT J., MAUREILLE B. et LAVILLE D. 2008 - Le cas des sépultures néandertaliennes du Sud-Ouest : et si on les vieillissait ? *In*: VANDERMEERSCH B., CLEYET-MERLE J.-J., JAUBERT J., MAUREILLE B. et TURQ A. (eds.), *Première humanité, gestes funéraires des néandertaliens.* Paris: Réunion des Musées Nationaux, p. 40.

VALLADAS H., JORON J.L., VALLADAS G., ARENSBURG B., BAR-YOSEF O., BELFER-COHEN A., GOLDBERG P., LAVILLE H., MEIGNEN L., RAK Y., TCHERNOV E., TILLIER A.-M. et VANDERMEERSCH B. 1987 - Thermoluminescence dates for the Neanderthal burial site at Kebara in Israel. 330, p. 159-160.

VALLOIS H.V. 1965 - Le sternum néandertalien du Regourdou. *Anthropologischer Anzeiger*, p. 273-289.

VALLOIS H.V. et DE FÉLICE S. 1976 - Le sternum néandertalien du Regourdou. Note complémentaire. *Anthropologischer Anzeiger*, 35, p. 229-235.

VALOJERDY M.R. et HOGG D.A. 1989 - Sex differences in the morphology of the auricular surfaces of the human sacroiliac joint. *Clinical Anatomy*, 2, p. 63-67.

VAN SINT JAN S. 2007 - *Color Atlas of Skeletal Landmark Definitions. Guidelines for Reproducible Manual and Virtual Palpations*. Churchill Livingstone, 208 p.

VAN VARK G.N. 1994 - Multivariate analysis: is it useful for Hominid studies. *In*: FRANZEN J. L. (ed.) *Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft*. Frankfurt, p. 289-294.

VANDERMEERSCH B. 1981 - *Les Hommes fossiles de Qafzeh (Israël)*. Paris: Editions du CNRS, 319 p.

VANDERMEERSCH B. 1989 - Homogénéité ou hétérogénéité des Néandertaliens. *In*: GIACOBINI G. (ed.) *Homonidae, 2nd Intern. Cong. Hum. Pal. Turin ; 28 septembre - 3 octobre*. Milan: Jaca Book, p. 311-317.

VANDERMEERSCH B. 2007 - Les Néandertaliens du Proche-Orient et de l'Asie du sud-ouest. *In*: MAUREILLE B. et VANDERMEERSCH B. (eds.), *Les néandertaliens. Biologie et cultures*. Paris: Editions du CTHS, p. 87-94.

VANDERMEERSCH B. et GARRALDA M.D. 2011 - Neanderthal geographical and chronological variation. *In*: CONDEMI S. et WENIGER G.-C. (eds.), *Continuity and Discontinuity in the Peopling of Europe*. Springer Netherlands, p. 113-125.

VANDERMEERSCH B. et MAUREILLE B. 2007 - *Les Néandertaliens. Biologie et cultures*. Paris: Editions du CTHS, 342 p.

VANDERMEERSCH B. et TRINKAUS E. 1995 - The postcranial remains of the Regourdou 1 Neanderthal: the shoulder and arm remains. *Journal of Human Evolution*, p. 439-376.

VANNIER M.W., MARSH J.L. et WARREN J.O. 1984 - Three dimensional CT reconstruction images for craniofacial surgical planning and evaluation. *Radiology*, 150, p. 179-184.

VEGA J., SÁEZ G., SMITH M., AGURTO M. et MORRIS N.M. 1993 - Risk factors for low birth weight and intrauterine growth retardation in Santiago, Chile. *Revista Medica de Chile*, 121, p. 1210-1219.

VERCAUTEREN M. 1991 - Taille et poids des nouveau-nés et jeunes enfants en Belgique : évolution séculaire et alimentation. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 3, p. 225-240.

VINICIUS L. 2005 - Human encephalization and developmental timing. *Journal of Human Evolution*, p. 762-776.

VINICIUS L. et LAHR M.M. 2003 - Morphometric heterochrony and the evolution of growth. *Evolution*, 57, p. 2459-2468.

VISWANATHAN N. et DAVIS F.C. 1992 - Timing of birth in Syrian Hamsters. *Biology of reproduction*, 47, p. 6-10.

VLCEK E. 1973 - Postcranial skeleton of a Neandertal child from Kiik-Koba. *USSR Journal of Human Evolution*, 2, p. 537-544.

VLEEMING A., SCHUENKE M.D., MASI A.T., CARREIRO J.E., DANNEELS L. et WILLARD F.H. 2012 - The sacroiliac joint: an overview of its anatomy, function and potential clinical implications. *Journal of Anatomy*, 221, p. 537-567.

VOISIN J.-L. 2004a - Clavicule : approche architecturale de l'épaule et réflexions sur le statut systématique des Néandertaliens. *Comptes Rendus Palevol*, 3, p. 133-142.

VOISIN J.-L. 2004b - L'ÉPAULE NÉANDERTALIENNE : IDENTIQUE OU DIFFÉRENTE DE CELLE DE L'HOMME MODERNE ? *BAR INTERNATIONAL SERIES*, p. 37-46.

VOLPATO V., MACCHIARELLI R., GUATELLI-STEINBERG D., FIORE I., BONDIOLI L. et FRAYER D.W. 2012 - Hand to mouth in a Neandertal: right-handedness in Regourdou 1. *PLoS ONE*, 7, p. e43949.

VON CRAMON-TAUBADEL N., FRAZIER B.C. et LAHR M.M. 2007 - The problem of assessing landmark error in geometric morphometrics: theory, methods, and modifications. *American Journal of Physical Anthropology*, 134, p. 24-35.

VRBA E. 1996 - Climate, heterochrony and human evolution. *Journal of Anthropological Research*, 52, p. 1-28.

WADDELL B.J., WHARFE M.D., CREW R.C. et MARK P.J. 2012 - A rhythmic placenta? Circadian variation, clock genes and placental function. *Placenta*, 33, p. 533-539.

WADHWA P.D., PORTO M., GARITE T.J., CHICZ-DEMET A. et SANDMAN C.A. 1998 - Maternal corticotropin-releasing hormone levels in the early third trimester predict length of gestation in human pregnancy. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 179, p. 1079-1085.

WAGNER K.E. et ROSS S.R. 2008 - Chimpanzee (Pan troglodytes) birth patterns and human presence in zoological settings. *American Journal of Primatology*, 70, p. 703-706.

WALKER A. et RUFF C. 1993 - The reconstruction of the pelvis. *In*: WALKER A. et LEAKEY R. (eds.), *The Nariokotome* Homo erectus *skeleton*. Cambridge: Harvard University Press, p. 221-233.

WALKER J.M. 1986 - Age-related differences in the Human sacroiliac joint: a histological study; implications for therapy. *Journal of orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 7, p. 325-331.

WALKER J.M. 1992 - The sacroiliac joint: a critical review. *Physical Therapy*, 72, p. 903-916.

WALKER M.J., ORTEGA J., LÃ³PEZ M.V., PARMOVÃ¡ K.R. et TRINKAUS E. 2011a - Neandertal postcranial remains from the Sima de las Palomas del Cabezo Gordo, Murcia, southeastern Spain. *American Journal of Physical Anthropology*, 144, p. 505-515.

WALKER M.J., ORTEGA J., LOPEZ M.V., PARMOVA K. et TRINKAUS E. 2011b - Neandertal postcranial remains from the Sima de las Palomas del Cabezo Gordo, Murcia, southeastern Spain. *American Journal of Physical Anthropology*, 144, p. 505-515.

WALKER M.J., ORTEGA J., PARMOVA K., LOPEZ M.V. et TRINKAUS E. 2011c - Morphology, body proportions, and postcranial hypertrophy of a female Neandertal from the Sima de las Palomas, southeastern Spain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108, p. 10087-10091.

WALKER P.L. 2005 - Greater sciatic notch morphology: sex, age, and population differences. *American Journal of Physical Anthropology*, p. 385-391.

WALRATH D. 1997 - *Sexual dimorphism of the pelvis and its relationship to birth in human evolution* (inédit). Philadelphia: University of Pennsylvania, 1997. 316p. PhD: Anthropology.

WALRATH D. 2003 - Rethinking pelvic typologies and the Human birth mechanism. *Current Anthropology*, 44, p. 5-31.

WALRATH D.E. et GLANTZ M.M. 1996 - Sexual dimorphism in the pelvic midplane and its relationship to Neandertal reproductive patterns. *American Journal of Physical Anthropology*, p. 89-100.

WALSH J.A. 2008 - Evolution & the cesarean section rate. *The American Biology Teacher*, 70, p. 401-404.

WANG M. et DUMAS G.A. 1998 - Mechanical behavior of the female sacroiliac joint and influence of the anterior and posterior sacroiliac ligaments under sagittal loads. *Clinical Biomechanics*, 13, p. 293-299.

WARD C.V., KIMBEL W.H., HARMON E.H. et JOHANSON D.C. 2012 - New postcranial fossils of *Australopithecus afarensis* from Hadar, Ethiopia (1990-2007). *Journal of Human Evolution*, 63, p. 1-51.

WASHBURN S.L. 1948 - Sex differences in the pubic bone. *American Journal of Physical Anthropology*, 6, p. 199-208.

WASHBURN S.L. 1960 - Tools and Human evolution. *Scientific American Magazine*, 203, p. 63-75.

WATSON P.J., O'HIGGINS P., FAGAN M.J. et DOBSON C.A. 2011 - Validation of a morphometric reconstruction technique applied to a juvenile pelvis. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, 225, p. 48-56.

WAXENBAUM E.B. et SIDDALL K.C. 2011 - Sexual dimorphism of the greater sciatic notch in a circumpolar population. *American Journal of Physical Anthropology*, 144, p. 307.

WEAVER T.D. 2002 - *A multi-causal functional analysis of Hominid hip morphology* (inédit). Stanford: Stanford University, 2002. 240p.: Anthropological sciences.

WEAVER T.D. 2003 - The shape of the Neandertal femur is primarily the consequence of a hyperpolar body form. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100, p. 6926-6929.

WEAVER T.D. et HUBLIN J.-J. 2009 - Neandertal birth canal shape and the evolution of human childbirth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, p. 8151-8156.

WEBER G.W. et BOOKSTEIN F.L. 2011 - *Virtual Anthropology. A guide to a new interdisciplinary field.* Vienne: Springer, 423 p.

WEBER G.W., SCHÄFER K., PROSSINGER H., GUNZ P., MITTERÖCKER P. et SEIDLER H. 2001 - Virtual Anthropology: The Digital Evolution in Anthropological Sciences. *Journal of physiological anthropology and Applied Human Science*, 20, p. 69-80.

WEIDENREICH F. 1941 - The extremity bones of *Sinanthropus pekinensis*. *Palaeontologica Sinica*, 116, p. 14-74.

WEINER S., MONGE J. et MANN A. 2008 - Bipedalism and parturition: an evolutionary imperative for cesarean delivery ? *Clinics in perinatology*, 35, p. 469-478.

WELLS J.C.K. 2003a - Parent-offspring conflict theory, signaling of need, and weight gain in early life. *The Quarterly Review of Biology*, 78, p. 169-202.

WELLS J.C.K. 2003b - What was human birth weight in the past? Simulations based on data on stature from the Palaeolithic to the present. *Journal of Life Sciences*, 1, p. 115-120.

WELLS J.C.K., DESILVA J.M. et STOCK J.T. 2012 - The obstetric dilemma: an ancient game of Russian roulette, or a variable dilemma sensitive to ecology? *Yearbook of Physical Anthropology*, 149, p. 40-71.

WESCOTT D.J. 2000 - Sex variation in the second cervical vertebra. *Journal of Forensic Sciences*, 45, p. 462-466.

WESTERN D. 1979 - Size, life history and ecology in mammals. *African Journal of Ecology*, 17, p. 185-204.

WEYL N. 1977 - Pelvic brim and cranial size. *Mankind Quarterly*, 18, p. 119.

WHEELER P.E. 1991a - The influence of bipedalism on the energy and water budgets of early hominids. *Journal of Human Evolution*, 21, p. 117-136.

WHEELER P.E. 1991b - The thermoregulatory advantages of hominid bipedalism in open equatorial environments: the contribution of increased convective heat loss and cutaneous evaporative cooling. *Journal of Human Evolution*, 21, p. 107-115.

WHITCOME K.K., SHAPIRO L.J. et LIEBERMAN D.E. 2007 - Fetal load and the evolution of lumbar lordosis in bipedal hominins. 450, p. 1075-1078.

WHO 1996 *Care in Normal Birth: A Practical Guide. Report of a Technical Working Group. Maternal and newborn Health/Safe Motherhood Unit, Family and Reproductive Health.* -, Genève.

WHO 2005 *Make every woman and child count.* -, Genève.

WHO 2006 - Neonatal and perinatal mortality: country, regional and global estimates. *Genève*.

WILLMOTT DOBBIE B.M. 1982 - An attempt to estimate the true rate of maternal mortalité, sixteenth to eigteenth centuries. *Medical History*, 26, p. 79-80.

WITTMAN A.B. et WALL L.L. 2007 - The evolutionary origins of obstructed labor: bipedalism, encephalization, and the Human obstetric dilemma. *Obstetrical and gynecological survey*, 62, p. 739-748.

WOBST H. 1976 - Locational relationships in Paleolithic society. *In*: WARD R. et WEISS K. (eds.), *The Demographic Evolution of Human Populations*. Londres: Academic Press, p. 49-58.

WOLPOFF M.H. 1979 - The Krapina dental remains. *American Journal of Physical Anthropology*, 50, p. 67-113.

WOLPOFF M.H. 1983 - Lucy's little legs. *Journal of Human Evolution*, 12, p. 443-453.

WOLPOFF M.H. 1999 - *Paleoanthropology*. 2nd édition. New York: McGraw Hill, 864 p.

WOLPOFF M.H., AGUIRRE E., BECKER M.J., HAJN V., KENNEDY K.A.R., MURAD T.A., RAO V.V., ROSIÑSKI F., SIEGEL M.I., SMITH F.H., TRINKAUS E., WOOD B.A. et ŽIVANOVIÆ S. 1976 - Some aspects of the evolution of early Hominid sexual dimorphism. *Current Anthropology*, 17, p. 579-606.

WOLPOFF M.H. et LEE S.-H. 2001 - The late Pleistocene Human species of Israel. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 13, p. 291-310.

WRANGHAM R.W. 1980 - Bipedal locomotion as a feeding adaptation in gelada baboons, and its implications for hominid evolution. *Journal of Human Evolution*, 9, p. 329-331.

WYLER A., BOUSSON V., BERGOT C., POLIVKA M., LEVEQUE E., VICAUT E. et LAREDO J.-D. 2007 - Hyaline cartilage thickness in radiographically normal cadaveric hips: comparison of spiral CT arthrographic and macroscopic measurements. *Radiology*, 242, p. 441-449.

YOULATOS D. 1999 - Comparative locomotion of six sympatric primates in Ecuador. *Annales des Sciences Naturelles - Zoologie et Biologie Animale*, 20, p. 161-168.

YOUNG J.H. 2007 - Evolution of blood pressure regulation in humans. *Current hypetension reports*, 9, p. 13-18.

ZADEH J., LAZORTHES G., ROUX P. et LAVERAN A. 1989 - Le plexus sacré postérieur. *Bulletin de l'Association des Anatomistes*, 73, p. 35-37.

ZARETSKY M.V., ALEXANDER J.M., MCINTIRE D.D., HATAB M.R., TWICKLER D.M. et LEVENO K.J. 2005 - Magnetic Resonance Imaging Pelvimetry and the Prediction of Labor Dystocia. *Obstetrics & Gynecology*, 106, p. 919-926.

ZAYED F., AMARIN Z., OBEIDAT B., OBEIDAT N., ALCHALABI H. et LATAIFEH I. 2008 - Face and brow presentation in northern Jordan, over a decade of experience. *Archives of Gynecology and Obstetrics*, 278, p. 427-430.

ZOLLIKOFER C.P.E. et PONCE DE LEÓN M.S. 1995 - Tools for rapid prototyping in the biosciences. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 15, p. 48-55.

ZOLLIKOFER C.P.E. et PONCE DE LEÓN M.S. 2005 - *Virtual reconstruction. A primer in computer-assisted paleontology and biomedicine*. Hoboken: Wiley, 333 p.

ZOLLIKOFER C.P.E. et PONCE DE LEÓN M.S. 2010 - The evolution of hominin ontogenies. *Seminars in cell & developmental biology*, 21, p. 441-452.

ZOLLIKOFER C.P.E., PONCE DE LEÓN M.S., LIEBERMAN D.E., GUY F., PILBEAM D., LIKIUS A., MACKAYE H.T., VIGNAUD P. et BRUNET M. 2005 - Virtual reconstruction of *Sahelanthropus tchadensis*. *Nature*, 434, p. 755-759.

ZOLLIKOFER C.P.E., PONCE DE LEÓN M.S. et MARTIN R.D. 1998 - Computer-assisted paleoanthropology. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*, 6, p. 41-54.

ZOLLIKOFER C.P.E., PONCE DE LEÓN M.S., MARTIN R.D. et STUCKI P. 1995 - Neanderthal computer skulls. 375, p. 283-285.

ZONNEVELD F.W., SPOOR C.F. et WIND J. 1989 - The use of computed tomography in the study of the internal morphology of hominid fossils. *Medicamundi*, 34, p. 117-128.

ZONNEVELD F.W. et WIND J. 1985 - High-resolution computed tomography of fossil hominid skulls: a new method and some results. *In*: TOBIAS P. V. (ed.) *Hominid Evolution: Past, Present and Future*. New York: Alan Liss, p. 427-436.

Annexes

Tables des annexes

Annexe A : planches anatomiques i

Annexe B : site de Regourdou (Montignac, Dordogne, France) iv

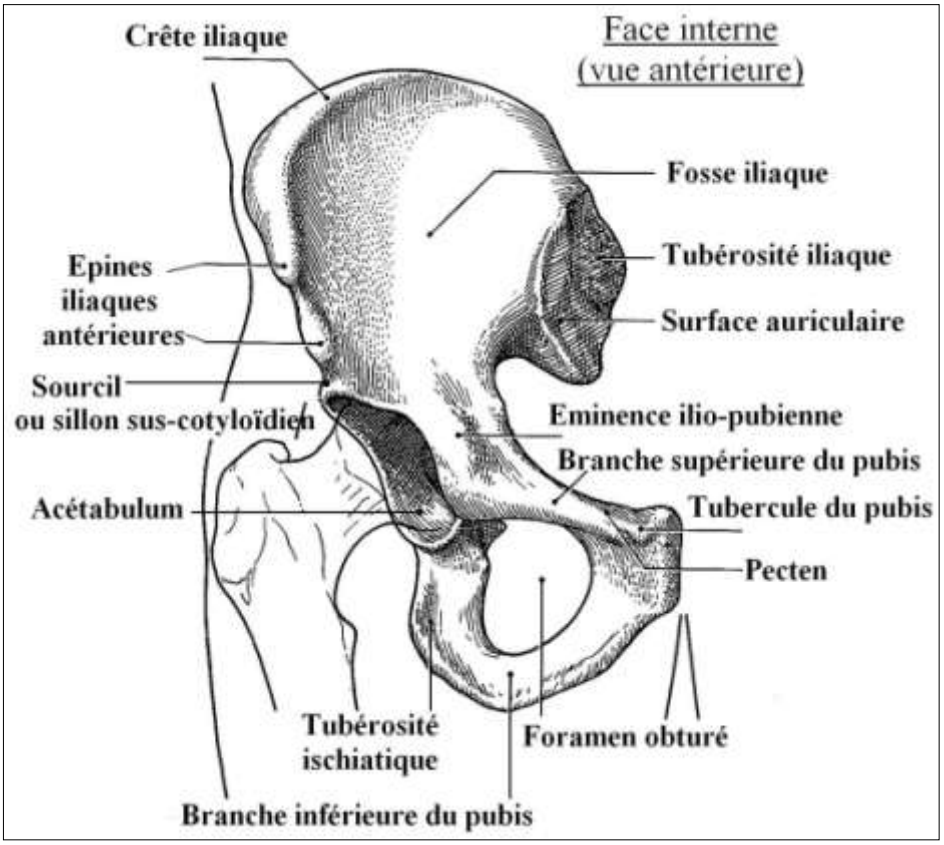
Annexe C. Données numériques et graphiques concernant le calcul de l'ERA pour les individus néandertaliens. vii

Annexe D. Les Méthodes d'estimation xii

Annexe E. Données numériques sur la partie obstétrique. xvi

Annexe F. Communications et publications xviii

Annexe A : planches anatomiques



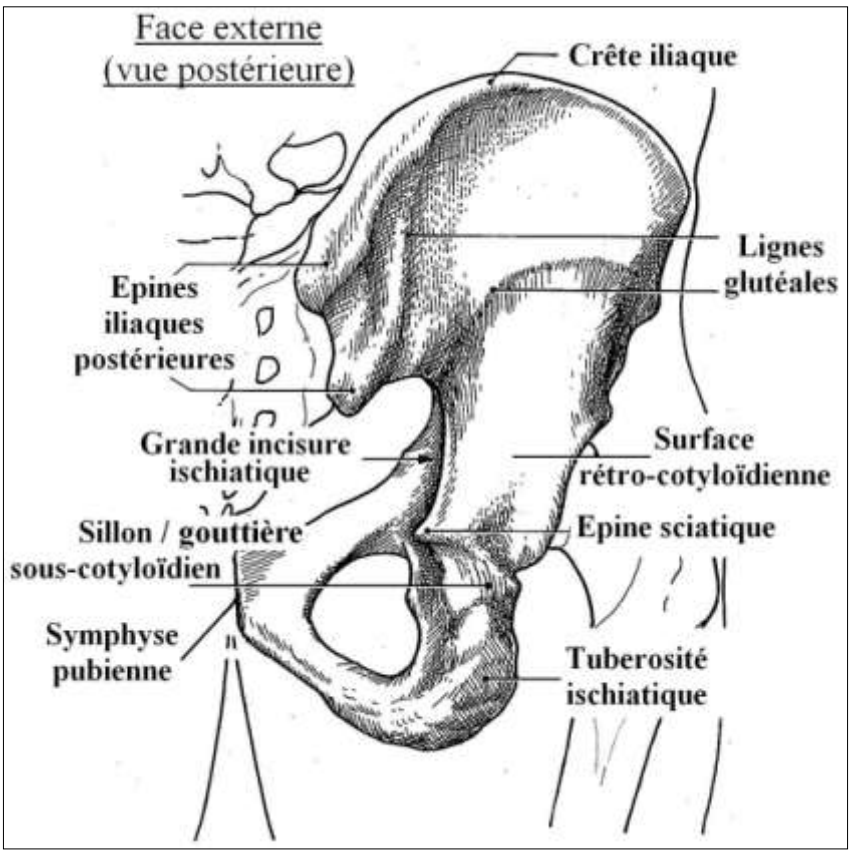


Figure A-107. L'os coxal, face interne (en haut) et externe (en bas). D'après Kamina, 1995

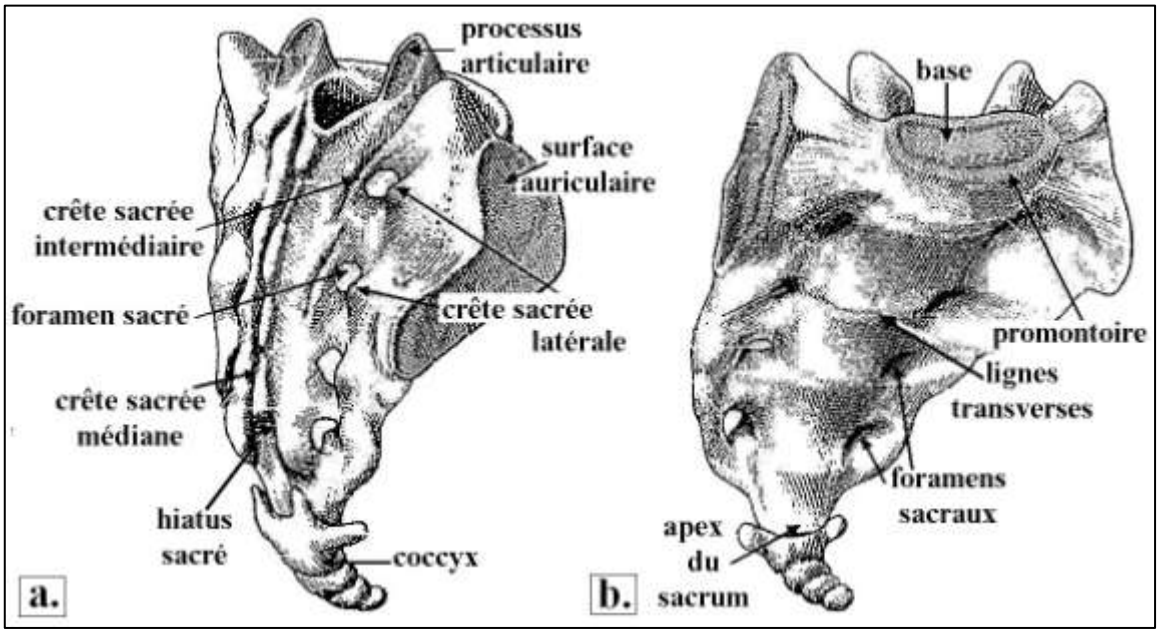


Figure A-108. Le sacrum et le coccyx, vue latéro-postérieure (à gauche) et vue latéro-antérieure (à droite)

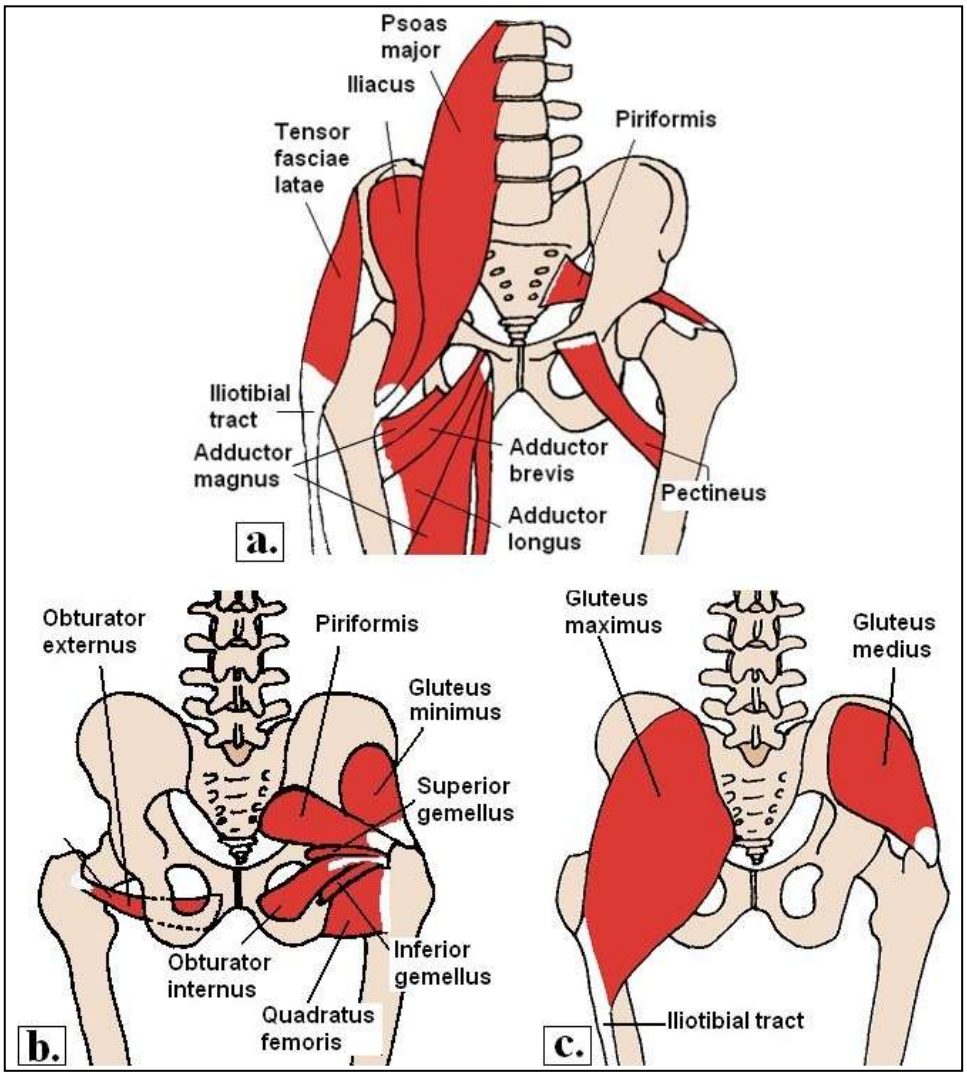


Figure A-109. Muscles de la hanche, a: vue antérieure, b-c : vue postérieure.

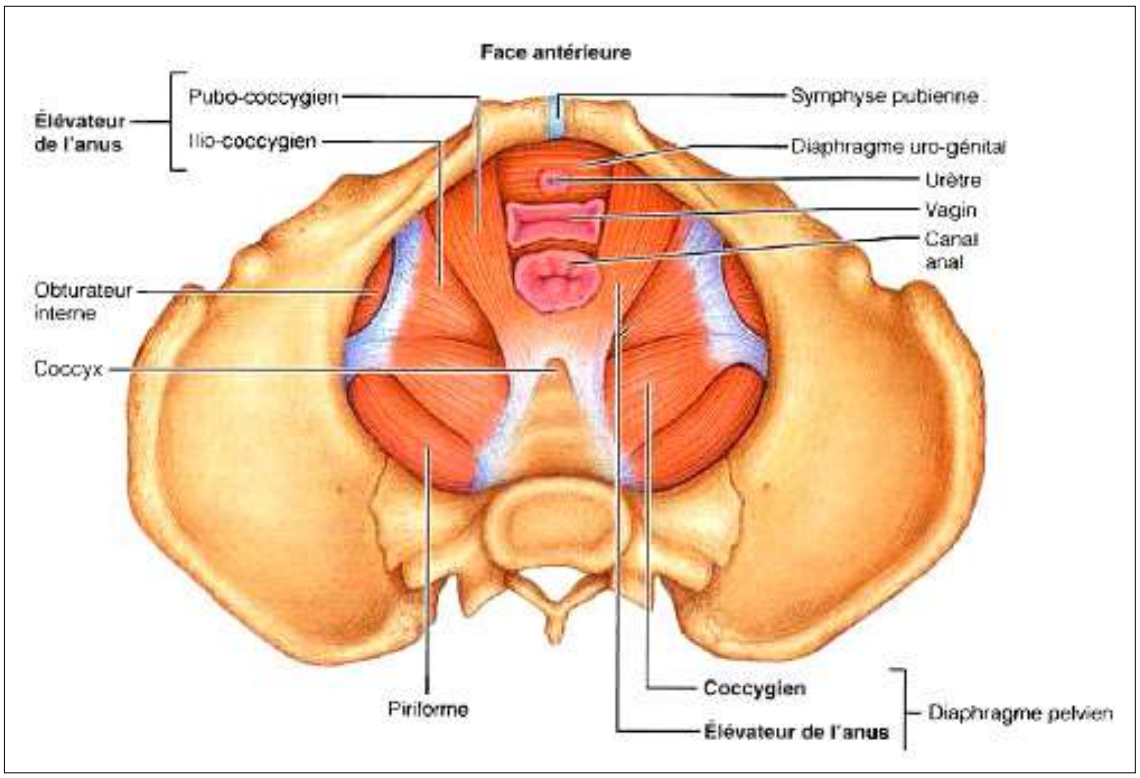


Figure A-110. Muscles du plancher pelvien, vue supérieure.

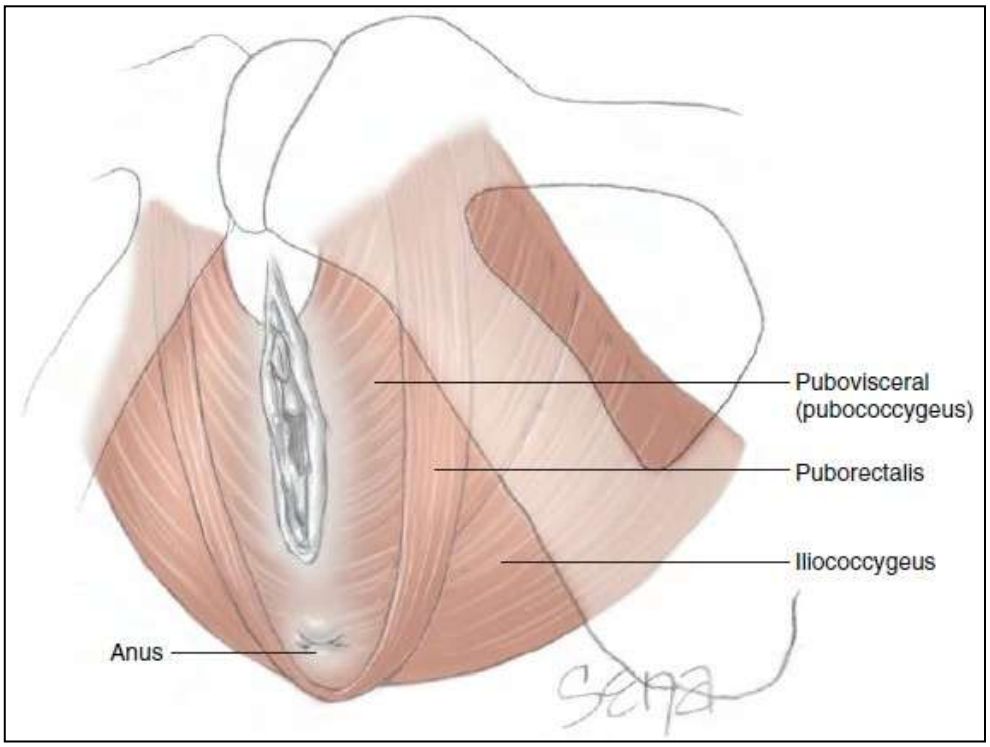


Figure A-111. Muscles du plancher pelvien, vue antéro-latérale. D'après Cunningham, et al., 2010

Annexe B : site de Regourdou (Montignac, Dordogne, France)

Nous présentons ici différentes données sur le site de Regourdou (Montignac, Dordogne, France).

Stratigraphie

D'après (Bonifay 1965a)

Couche S : accumulation de sables rouges dans la dépression causée par l'effondrement de la grotte. Présence de matériel paléolithique.

Couche 1 : blocs provenant du toit de la grotte. Présence de quelques restes osseux, reposant surement sur le plateau, à l'origine.

Couche 2 : niveau d'éboulis avec de nombreux blocs et blocailles stratifiés dans un ensemble de sables et limons. L'épaisseur des blocs varie et leur stratigraphie est très complexe. Présence de silex taillés et d'ossements fossiles (faune froide).

Couche 3 : sables rouges (varvés vers le fond de la grotte). Plusieurs niveaux successifs (lit de stalagmites, sables argileux riches en gastéropodes, sables rouges lités) dont l'épaisseur varie de 0,50 à 1 m. Restes d'ours bruns.

Couche 4 : sables gris et noirâtres, épaisseur 0,30 à 0,50 m. Présence de foyer (cendre, os et pierres brulés, charbon de bois). La sépulture a été retrouvée dans cette couche.

Couche 5 : sables rougeâtres, traces de foyers. Épaisseur : 0,10 à 0,50 m.

Couche 6 : sable verdâtre, couche peu épaisse.

Couche 7 : sables rouges, plus ou moins grossiers. Épaisseur : 0,40 à 0,50 m.

Couche 8 : sables rouges lités, 1m d'épaisseur environ.

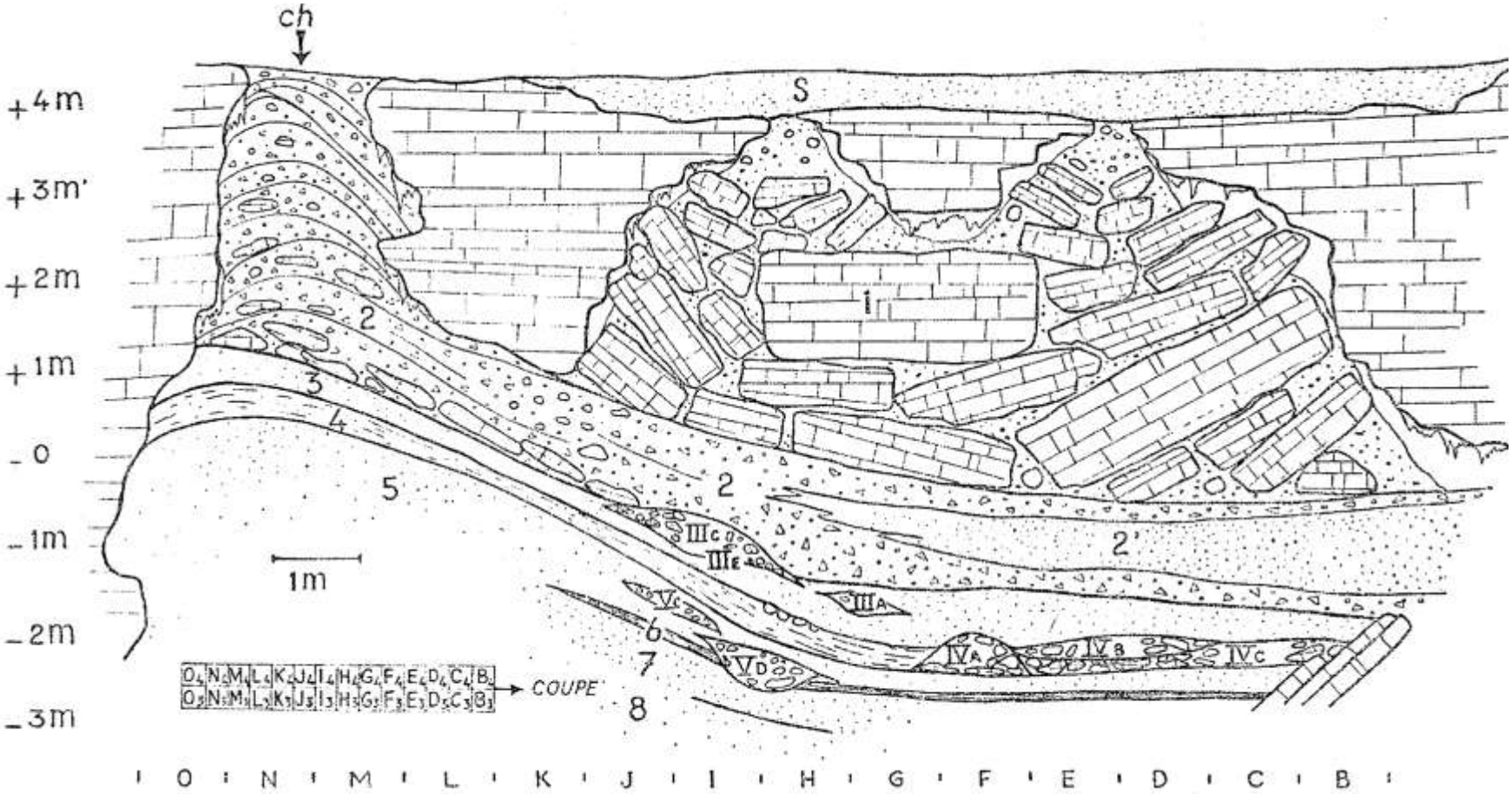


Figure B-112. Coupe stratigraohique du gisement de Regourdou 1. Modifié d'après Bonifay, 1965.

Sépulture

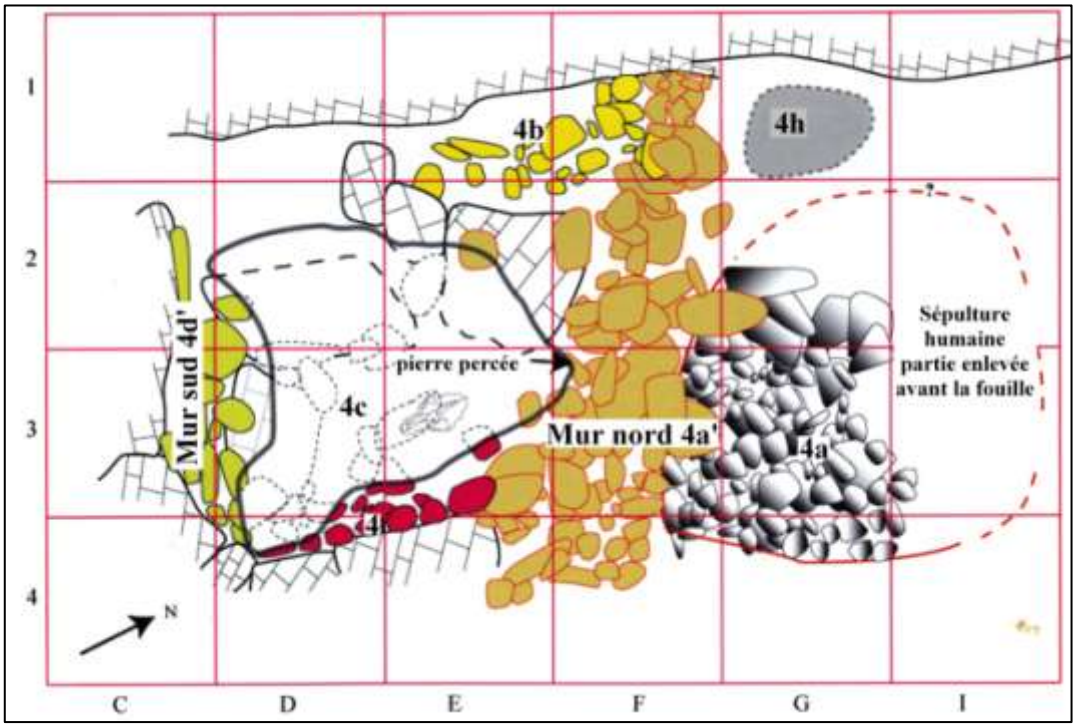


Figure B-113 : Les différentes structures de la couche 4. D'après E. Bonifay, *et al*. 2007

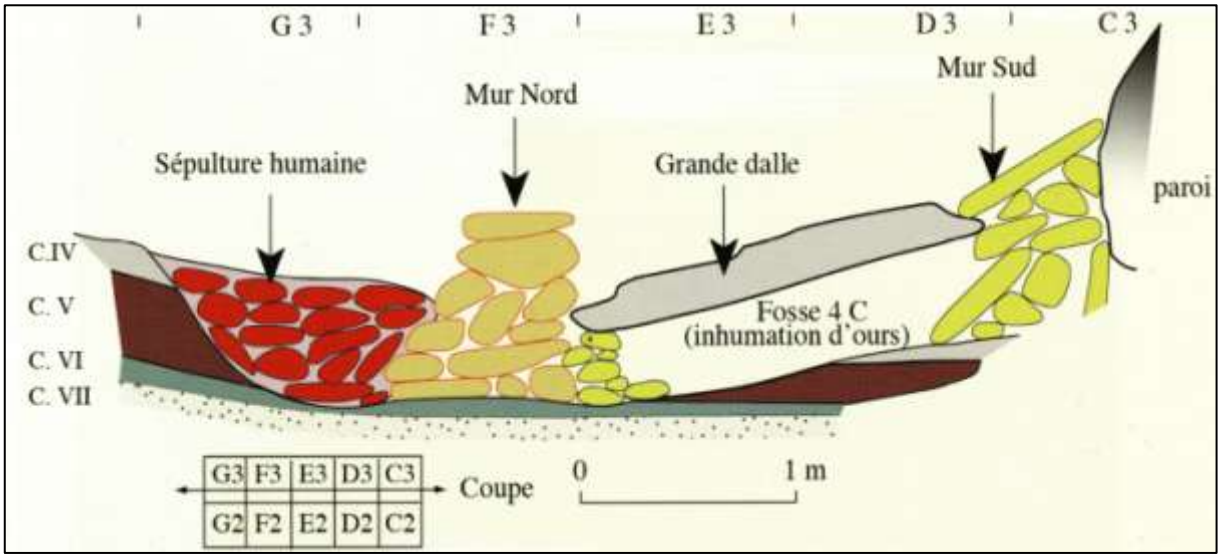


Figure B-114 : Coupe longitudinale de la sépulture. D'après Bonifay, *et al*. 2007

Annexe C. Données numériques et graphiques concernant le calcul de l'ERA pour les individus néandertaliens.

Tableau C-31. Valeurs de l'écart réduit ajusté (ERA) pour les coxaux de chacun des individus néandertaliens.

	Hommes anatomiquement modernes			Valeurs de l'ERA, individus néandertaliens									
	moyenne	écart-type	effectif	Reg. 1	Keb. 2	Feld. 1	La Ferr. 1	La Ferr. 2	La Chap.1	Tab. C1	Krap. 207	Krap. 208	Krap.209
HSL	30,48	4,38	64	0,51	0,27	0,34	-0,33		0,06	-0,32	-0,03	-0,72	
EpEIAI	9,94	2,06	64	0,44	0,26	0,16				-0,39	0,11		
LoEIAI	26,19	3,20	64	0,18	0,26	0,36				-0,48	0,57		
EpLA	23,84	2,99	64	0,32	0,29	0,52	0,40	-0,36		-0,02	-0,76		-0,55
LHSA	41,57	5,38	64	-0,60	-0,84	-0,56		-0,51					
LPSA	54,46	6,19	64	-0,61	-0,20	-0,39		-1,14					
EpSA	20,92	2,48	64	1,15	1,04	1,04	1,65						
SS	73,23	4,87	64	-0,51	-0,94	-0,39	-1,26			-0,98			-0,73
SA	77,43	6,16	64	-0,29	-0,48	0,50	0,31						0,24
LoTI	66,13	6,35	64	-0,64	-0,52							-1,03	
LaTI	28,15	3,93	64	0,43	0,02				0,63	-1,09	-0,64	0,23	
SIS	38,59	3,34	64	-0,76	-1,25	0,14	-0,29		-0,86	-1,23	-1,06	-1,65	-1,43
LAI	77,20	6,52	64	0,05	-0,46	-0,01	0,10		0,75	-0,40			
I épine	0,38	0,08	64	0,29	0,07	-0,06				-0,14	-0,21		
I SS-SA	0,95	0,08	64	-0,16	-0,34	-0,75	-1,26						-0,80
I ti	2,38	0,28	64	-0,96	-0,49							-1,08	
I isch	0,50	0,04	64	-0,84	-0,90	0,14	-0,40		-1,45	-0,94			
I ti-i	0,86	0,06	64	-0,88	-0,17								
I la-i	0,62	0,07	64	1,14	1,73	0,47	0,74			1,23	-0,05		0,67

Tableau C-32. Valeurs de l'écart réduit ajusté (ERA) pour les sacrums de chacun des individus néandertaliens.

	Hommes anatomiquement modernes			Valeurs de l'ERA, individus néadertaliens						
	moyenne	écart-type	effectif	Regourdou 1	Kebara 2	La Chapelle aux Saints 1	Subalyuk 1	Shanidar 1	Shanidar 3	Spy 2
LAD	58,32	3,81	47	-1,23	0,03		-0,44			
LS	115,77	6,09	47	-0,79	0,37	-1,27	-0,67	-0,95	0,10	-1,03
LAG	57,65	3,50	47	-0,31	0,47		-0,63			
DAPC	34,11	8,43	47	-0,11	-0,14	-0,65	-0,13	0,75	0,06	
DTC	49,95	6,77	47	0,09	0,32	0,07	0,00		0,88	
HSAS	53,92	7,81	47	0,21	0,17	-0,05	0,24	0,89	0,38	
I ad	0,50	0,02	47	-1,37	-0,55		0,24			
I adag	1,01	0,05	47	-1,31	-0,53		0,21			
I c	1,51	0,26	47	0,15	0,38	1,32	0,10		0,48	
I sv	0,43	0,05	47	0,49	0,19	0,74	0,31		0,94	
I ag	0,50	0,02	47	0,70	0,25		-0,10			

Tableau C-33. Individus néandertaliens pris en compte dans le calcul de la moyenne.

		Kebara 2	Feldofer 1	La Ferrassie 1	La Ferrassie 2	La Chapelle aux Saints 1	Tabun C1	Krapina 207	Krapina 208	Krapina 209	Subalyuk 1	Shanidar 1	Shanidar 3	Spy 2
Ilium	HSL		▪	▪	▪		▪	▪	▪					
	EpEIAI	▪	▪				▪	▪						
	LoEIAI	▪	▪				▪	▪						
	EpLA	▪	▪	▪		▪	▪	▪		▪				
	LHSA	▪	▪			▪								
	LPSA	▪	▪			▪								
	EpSA	▪	▪	▪										
	SS	▪	▪	▪			▪			▪				
	SA	▪	▪	▪						▪				
Ischium	LoTI	▪					▪		▪					
	LaTI	▪			▪		▪	▪	▪					
	SIS	▪	▪	▪	▪		▪	▪	▪	▪				
	LAI	▪	▪	▪	▪		▪							
Sacrum	LAD	▪									▪			
	LS	▪				▪					▪	▪	▪	▪
	LAG	▪									▪			
	DAPC	▪				▪					▪	▪	▪	
	DTC	▪				▪					▪		▪	
	HSAS	▪				▪					▪	▪	▪	

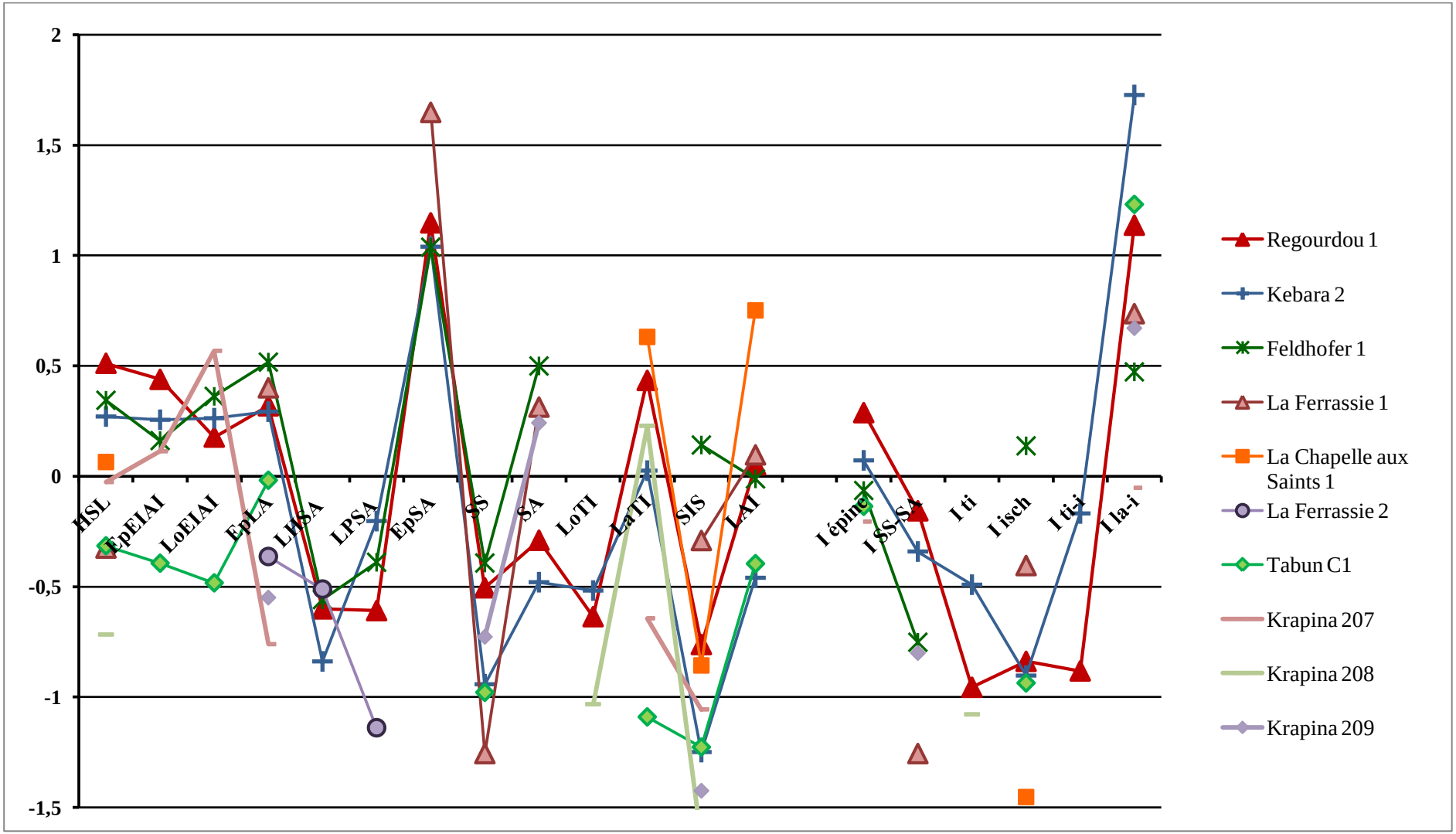


Figure C-115. Analyse de la distance probabiliste entre l'ensemble des individus néandertaliens et une population moderne. Données linéaires et rapport concernant les coxaux.

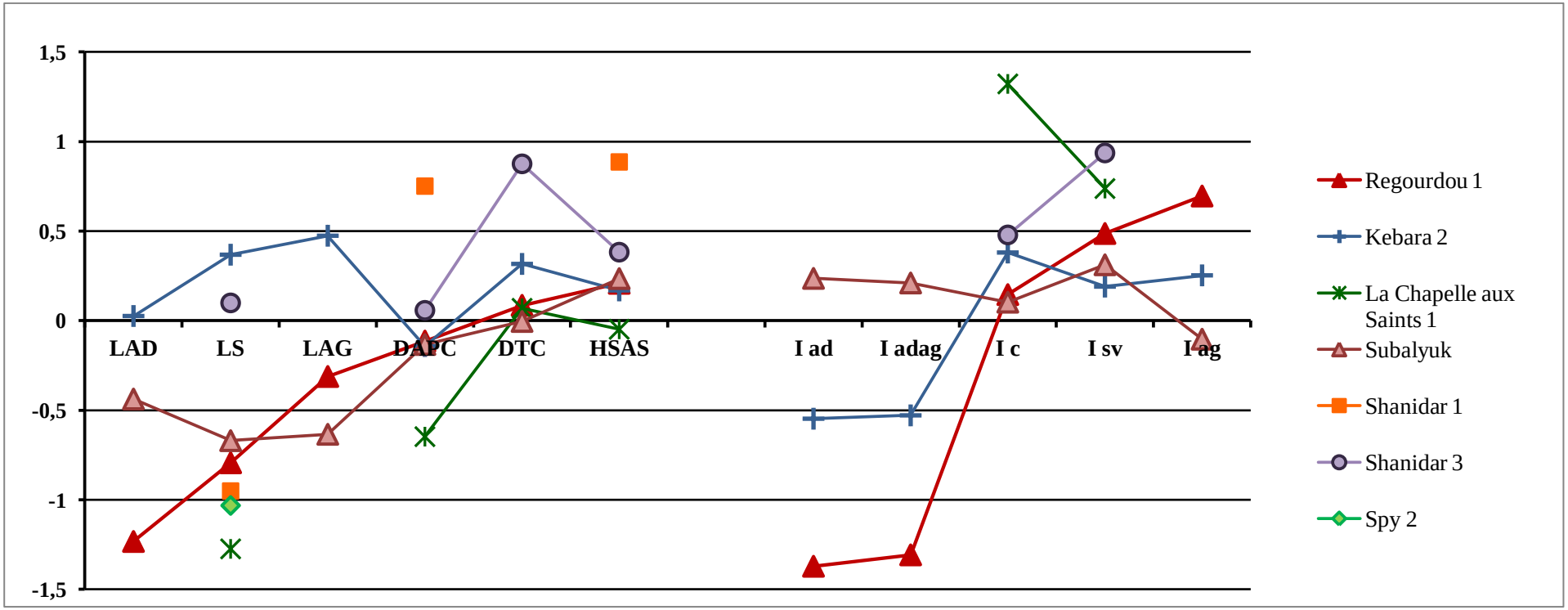


Figure C-116. Analyse de la distance probabiliste entre l'ensemble des individus néandertaliens et une population moderne. Données linéaires et rapport concernant les sacrums.

Annexe D. Les Méthodes d'estimation

Dans cette annexe, nous proposons un développement mathématique des trois méthodes que nous avons comparées.

Régression Multiple. La méthode de régression multiple procède en quatre étapes principales :

Pour chaque individu, calculer une « matrice de forme » *D* contenant les distances euclidiennes entre chaque paire de landmarks : pour tous *i* et *j* compris dans l'intervalle d'entiers [1,*n*], le coefficient *Dij* est la distance euclidienne entre les landmarks *i* et *j* de l'individu : *Dii* = 0 pour tout *i*, et $Dij = Dji = \left\|\left(x_i - x_j, y_i - y_j, z_i - z_j\right)\right\|$.

Cette matrice *D* étant symétrique et à diagonale nulle, on ne retient que l'information contenue dans sa partie triangulaire supérieure, que l'on transforme en un vecteur-colonne.

Pour chaque distance manquante chez l'individu à estimer, construire sur la base d'apprentissage un modèle de régression aux moindres carrés partiels (PLSR)(Cornillon et Matzner-Lober 2007). avec toutes les distances connues comme covariables. Le nombre optimal de composantes PLS à retenir est déterminé par validation croisée (LOOCV). Chaque distance manquante est ainsi estimée *via* le modèle de régression correspondant.

Comme toutes les distances entre paires de landmarks sont désormais connues, on dispose de la « matrice de forme » de l'individu à estimer. On utilise le Multi-Dimensional Scaling (MDS) pour obtenir à nouveau des coordonnées cartésiennes, qui ne sont toutefois pas nécessairement exprimées dans le repère adéquat. Une analyse procustéenne ordinaire permet finalement d'aligner ces coordonnées sur les coordonnées originelles de l'individu à estimer.

Algorithme EM (Expectation-maximization). La méthode suivante est inspirée des méthodes de type EM, et repose également sur des modèles de régression linéaire. On procède comme suit (voir aussi (Weaver, 2009 #73) :

1. Aligner les individus de la base d'apprentissage sur l'individu à estimer par analyse procustéenne généralisée, en ne prenant en compte que les landmarks connus sur l'individu à estimer (on « fait suivre » les autres landmarks en leur appliquant la même transformation géométrique, composée d'une translation, d'une rotation et d'une mise à l'échelle).
2. Itérer ensuite deux étapes, qu'on peut considérer comme les étapes « E » et « M » de

l'algorithme :

- estimer les landmarks manquants de l'individu à reconstruire, coordonnée par coordonnée, en utilisant une régression sur composantes principales.
- superposer tous les individus de référence, en utilisant seulement *tous* les landmarks.

Cette étape est gourmande en temps de calcul, et on se limitera à 20 itérations, qui sont suffisante pour observer empiriquement une convergence satisfaisante de l'algorithme (c'est-à-dire une stabilisation des coordonnées estimées et de la somme des résidus carrés de l'analyse procustéenne généralisée).

Thin plate spline warping (TPS). Cette méthode d'estimation dispose d'une solution par formule close, et ne comporte aucune partie itérative : son traitement informatique est donc relativement plus rapide que celui des méthodes EM et MR. Il s'agit d'un raffinement de la méthode de substitution par la moyenne (Neeser *et al.* 2009). Les étapes du processus sont les suivantes :

1. On calcule le consensus (« mean shape ») de tous les individus de la base d'apprentissage par analyse procustéenne généralisée. Ce consensus devient notre *forme de référence* pour les étapes qui vont suivre,
2. Par une analyse procustéenne ordinaire, aligner la forme de référence sur l'individu à estimer.
3. On appelle *R* la matrice suivante :

$$R = \begin{pmatrix} 1 & x_1 & y_1 & z_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_n & y_n & z_n \end{pmatrix}$$

R est de dimension (*n* x 4), où *n* est le nombre total de landmarks. Les (x_i, y_i, z_i) sont les coordonnées du *i*-ème landmark de la forme de référence.

4. On appelle *U* la matrice suivante, de dimension ((*n*+4*)* x 4), où les (x_i', y_i', z_i') sont les coordonnées du *i*-ème landmark de l'individu à estimer. :

$$U = \begin{pmatrix} x_1' & y_1' & z_1' \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n' & y_n' & z_n' \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

5. On appelle *D* la matrice telle que, pour tous *i* et *j* compris dans l'intervalle d'entiers [1,*n*], le coefficient *Dij* est la distance euclidienne entre les landmarks *i* et *j* de la forme de référence : *Dii* = 0 pour tout *i*, et

$$Dij = Dji = \left\| \left(x_i - x_j , y_i - y_j , z_i - z_j \right) \right\| .$$

6. On appelle enfin *M* la matrice suivante, définie par blocs :

$$M = \begin{pmatrix} D & R \\ R^T & 0 \end{pmatrix}$$

7. Pour un ensemble donné de points de l'espace $\left(x_i , y_i , z_i \right)_{i=1,\ldots,n}$ (dans notre cas ces points sont les *n* landmarks de la forme de référence), une fonction TPS est une fonction $^3 \longrightarrow$ de la forme :

$$f(x,y,z) = a_1 + a_2 x + a_3 y + a_4 z + \sum w_i \left\| \left(x_i - x, y_i - y, z_i - z \right) \right\| .$$

8. Les paramètres a_1, a_2, a_3, a_4 et les $\left(w_i \right)_{i=1,\ldots,n}$ sont des valeurs réelles qui caractérisent la fonction TPS. Comme nous évoluons dans l'espace ^{3}, nous avons besoin de trois fonctions TPS pour notre estimation et notre déformation : une fonction par direction d'espace. Soient f_x, f_y, f_z ces trois fonctions.

9. Il reste à caractériser les paramètres de ces trois fonctions f_x, f_y, f_z. Ils sont donnés par le produit matriciel suivant :

$$M^{-1}U = \begin{pmatrix} w_{1x} & w_{1y} & w_{1z} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{nx} & w_{ny} & w_{nz} \\ a_{1x} & a_{1y} & a_{1z} \\ a_{2x} & a_{2y} & a_{2z} \\ a_{3x} & a_{3y} & a_{3z} \\ a_{4x} & a_{4y} & a_{4z} \end{pmatrix}$$

10. Les fonctions f_x, f_y, f_z étant déterminées, pour chaque landmark manquant sur l'individu à estimer, les appliquer sur les landmarks homologues de l'individu de référence pour estimer les landmarks manquants.

Annexe E. Données numériques sur la partie obstétrique.

Répercussion de l'erreur d'estimation sur les dimensions obstétricales

Pour calculer cette répercussion, nous avons procédé comme suit :

1. Les mesures ont été prises sur l'ensemble des bassins de notre échantillon de référence.

2. Les individus ont été soumis au même type d'estimation que Regourdou 1 (même 34 points manquants, par thin-plate spline avec un individu de référence).

3. Les mesures ont été reprises sur les mêmes individus après cette estimation.

4. Nous avons mesurée l'erreur résiduelle entre les dimensions avant et après estimation.

Le diamètre Transverse Maximum est calculé à partir de points pris directement sur le bassin, il ne subit donc pas l'influence de l'estimation.

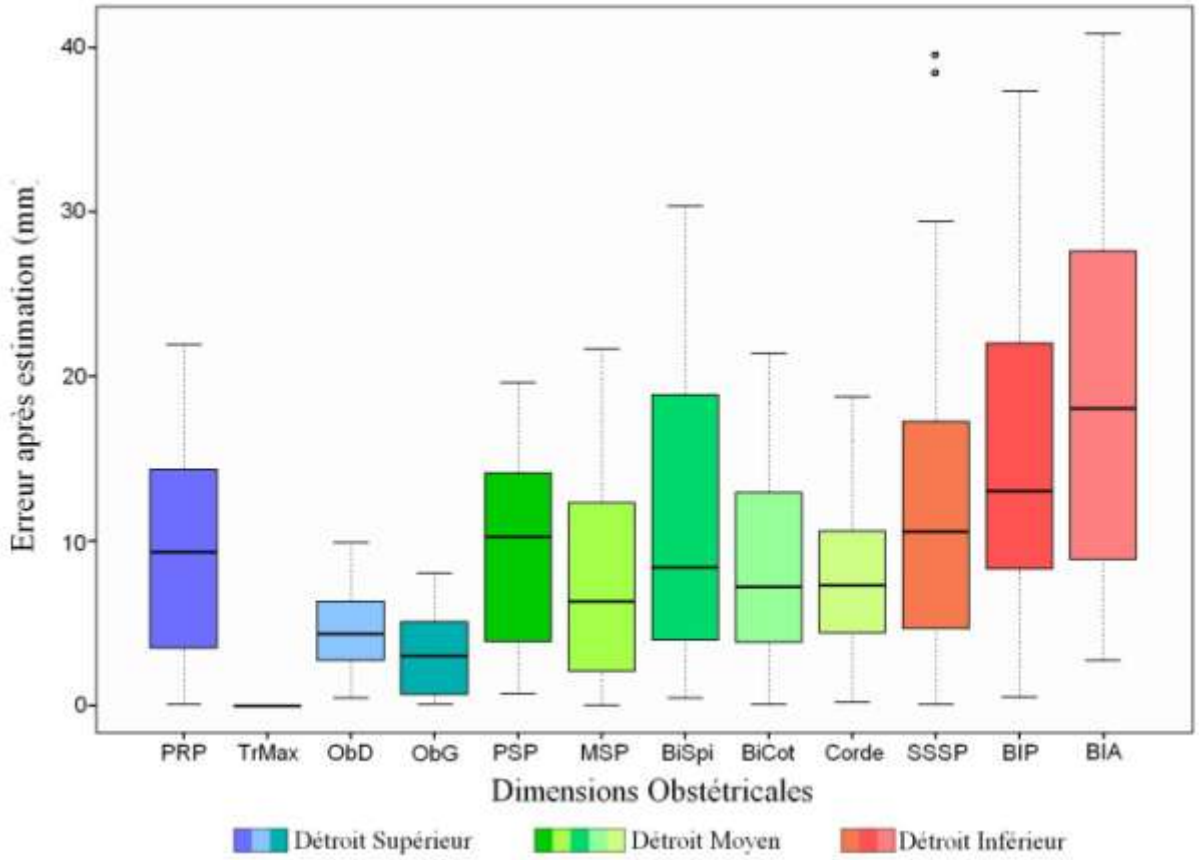


Figure E-117. Influence de l'estimation de données manquantes sur les dimensions obstétricales.

Tableau E-34. Dimensions obstétricales de la population moderne de référence et valeurs de l'ERA des Néandertaliens par rapport à la population totale.

		Population Totale			Femmes			Hommes			Valeurs de l'ERA, individus néandertaliens		
		N	M	σ	N	M	σ	N	M	σ	Regourdou 1	Kebara 2	Tabun C1
Supé-rieur (mm)	Promonto-rétropubien	151	116,07	9,76	78	119,29	8,95	73	112,51	9,38	0,26	0,66	-0,96
	Transverse maximum	151	128,09	8,31	78	131,87	6,77	73	124,06	7,98	-1,76	0,73	0,20
	Oblique droit	151	142,46	7,35	78	143,75	7,17	73	140,99	7,30	-1,42	0,87	-1,38
	Oblique gauche	151	139,27	6,42	78	140,64	5,92	73	137,81	6,69	-1,13	1,33	-1,59
Moyen (mm)	Promonto-rétro-pubien	151	116,07	9,76	78	119,29	8,95	73	112,51	9,38	0,26	0,66	-0,96
	Promonto-sous-pubien	151	126,72	9,59	78	128,51	8,70	73	124,73	10,18	-0,77	0,86	-0,68
	Mi-sacro-pubien	151	124,70	9,30	78	128,11	7,91	73	120,92	9,20	-0,86	-1,32	-1,92
	Sous-sacro-sous-pubien	151	115,72	8,67	78	118,83	8,01	73	112,59	8,20	-0,98	-1,90	-1,74
	Bi-sciatique	151	100,06	10,43	78	107,84	6,83	73	91,72	6,40	-0,81	0,42	0,35
	Transverse bi-cotyloïde	151	115,82	10,24	78	120,44	7,73	73	110,82	10,31	-1,05	0,93	0,85
	Corde sacrée	151	109,37	11,27	78	106,96	11,56	73	112,16	10,23	-0,88	0,31	-0,47
Infé-rieur (mm)	Sous-sacro-sous-pubien	151	115,72	8,67	78	118,83	8,01	73	112,59	8,20	-0,98	-1,90	-1,74
	Bi-ischiatique postérieur	151	135,38	12,18	78	142,43	9,11	73	127,68	10,15	-2,40	-1,26	0,29
	Bi-ischiatique antérieur	151	84,71	13,86	78	94,18	9,80	73	74,39	9,30	-1,39	-0,12	1,20
Indices	PRP/Trmax	151	0,91	0,09	78	0,91	0,09	73	0,91	0,09	1,35	0,10	-0,84
	MSP/Bispi	151	1,28	0,16	78	1,20	0,12	73	1,37	0,15	-0,03	0,28	-0,68
	SSP/BIIant	151	1,40	0,23	78	1,28	0,16	73	1,53	0,21	0,83	-1,00	-1,61
Aire (cm^2)	Détroit supérieur	151	116,84	12,91	78	123,58	10,14	73	109,64	11,63	-0,19	1,60	-0,08
	Détroit moyen	151	98,24	14,38	78	108,64	9,63	73	87,14	9,47	0,00	0,64	-0,04
	Détroit inférieur	151	123,32	16,48	78	132,90	12,54	73	113,08	13,85	-1,21	-1,29	-0,27
Circonférence (cm)	Détroit supérieur	151	41,89	1,79	78	42,45	1,55	73	41,29	1,84	-0,60	1,57	-0,98
	Détroit moyen	151	40,67	2,08	78	41,69	1,44	73	39,57	2,10	-0,66	0,23	-0,60
	Détroit inférieur	151	43,17	3,37	78	43,93	4,13	73	42,37	2,06	-2,45	-0,65	-0,67
Volume Cm^3	canal pelvien	151	1177,06	162,69	78	1206,72	142,65	73	1145,38	177,23	-1,27	-0,76	-1,48
	cavité pelvienne	151	936,95	128,79	78	960,71	109,12	73	911,55	143,37	-1,05	-0,45	-1,62

Annexe F. Communications et publications

- **Publications**

MEYER V., BRUZEK J., COUTURE C., MADELAINE S. et MAUREILLE B. 2011 - Un nouveau bassin néandertalien : description morphologique des restes pelviens de Regourdou 1 (Montignac, Dordogne, France). *PALEO*, 22, p.207-222

- **Oral communications**

Valentine MEYER, Jaroslav BRUZEK, Christine COUTURE, Frédéric SANTOS et Bruno MAUREILLE 2013 – L'asymétrie pelvienne de Regourdou 1. Hypothèses sur son origine et ses conséquences fonctionnelles. *1838th scientific meeting of the Société d'Anthropologie de Paris. (Paris, January 24th 2013).*

MEYER V., SANTOS F., DUTAILLY B., COUTURE C., BRUZEK J. et MAUREILLE B. 2012 – 3D reconstruction of Regourdou 1: methodological approach. *81st Annual Meeting of the American Association of Physical Anthropology (Portland, 14 avril 2012).*

Valentine MEYER, Frédéric SANTOS, Bruno DUTAILLY, Jaroslav BRUZEK, Christine COUTURE et Bruno MAUREILLE 2012 - Approche méthodologique de la reconstitution virtuelle du bassin de Regourdou 1. *1837th scientific meeting of the Société d'Anthropologie de Paris. (Bordeaux, 27 janvier 2012).*

MEYER V., BRUZEK J., COUTURE C., SANTOS F., DUTAILLY B. et MAUREILLE B. 2011 - Regourdou 1: a new neandertalian pelvis, preliminary study and perspectives of functional interpretation. *80th Annual meeting of the American Association of Physical Anthropology (Minneapolis, 14 avril 2011).*

Valentine MEYER, Christine COUTURE, Jaroslav BRUZEK, Stéphane MADELAINE, Bruno MAUREILLE, 2011. Un nouveau bassin néandertalien, Regourdou1 : caractéristiques morphologiques et données métriques. *1836ème Journées scientifiques de la Société d'Anthropologie de Paris (Paris, 26 janvier 2011).*

MEYER V. 2010. Trinil femora : Homo sapiens or Homo erectus ? *13th international conference or the European Association of Southeast Asian Archaeologists. (Berlin, 27 septembre 2010).*

MAUREILLE B., COUTURE C., BRUZEK J., MEYER V. et MADELAINE S. 2010 - Sur la découverte de nouveaux restes osseux du squelette de Néandertalien Regourdou 1 (Montignac, France). *1835th scientific meeting of the Société d'Anthropologie de Paris (Bruxelles, janvier 2010).*

MAUREILLE B., MADELAINE S., TURQ A., COUTURE C., BRUZEK J. et MEYER V. 2010 - Regourdou 1 (montignac, dordogne) : nouvelles donnees, nouvelles questions sur une sepulture neandertalienne. *XXVIIth Meeting of the Société Préhistorique de France (Bordeaux, 3 juin 2010).*

- **Poster**

MEYER V., SANTOS F., DUTAILLY B., BRUZEK J., COUTURE C. and MAUREILLE B. 2012 - 3D reconstruction of Regourdou 1 pelvis: estimation of missing parts and first functionnal analysis. *2nd meeting of the European Society for the study of Human Evolution (Bordeaux, 21 septembre 2012).*

V. MEYER, C. COUTURE, J. BRUZEK, F. SANTOS and B. MAUREILLE, 2012. New data on the Neandertal pelvic morphology: the case of Regourdou 1. *21th Ann. Meeting of the Paleoanthropology Society (Memphis, 17 avril 2012).*

Valentine MEYER, Frédéric SANTOS, Bruno DUTAILLY, Jaroslav BRUZEK, Christine COUTURE and Bruno MAUREILLE. 2011 – Estimating Missing Data: comparison of the precision and accuracy of three methods applied on the pelvis. *Innaugural meeting of the European Society for Human Evolution, (Leipzig, 23-24 septembre 2011).*

Valentine MEYER and Frédéric SANTOS. 2011- Trinil femora: *Homo sapiens* or *Homo erectus*? *20th Annual Meeting of the Paleoanthropology Society (Minneapolis, 12 avril 2011).*

Apport de la reconstruction virtuelle du bassin Regourdou 1 (Dordogne, France) à la connaissance des mécaniques obstétricales néandertaliennes.

Mots clés : Regourdou 1, paléo-obstétrique, Néandertal, morphologie pelvienne, anthropologie virtuelle, morphométrie géométrique, estimation des données manquantes

Résumé : La découverte d'un nouveau bassin, Regourdou 1, offre l'occasion de discuter de l'implication fonctionnelle de la morphologie pelvienne néandertalienne. Dans un premier temps, ce spécimen est décrit, ce qui permet de vérifier son appartenance aux Néandertaliens et mettre en évidence certains traits spécifiques à cette population. Bien qu'aucun ne soit autapomorphique, la combinaison de ces caractères caractérise la ceinture pelvienne néandertalienne. Le bassin Regourdou 1 est ensuite reconstruit à l'aide d'une estimation des données manquantes, par *thin-plate spline* à partir de Kebara 2. Les dimensions du canal pelvien de Regourdou 1 sont comparées à celles de deux autres spécimens néandertaliens (Tabun C1 et Kebara 2) et d'une population moderne (n=151). L'analyse de la morphologie des détroits obstétricaux néandertaliens (par morphométrie géométrique), et de la relation céphalo-pelvienne, met en évidence la présence de caractéristiques associées chez l'Homme anatomiquement moderne à la naissance rotationnelle. Notre travail confirme l'existence de mécaniques obstétricales néandertaliennes de type moderne. Cette interprétation permet d'enrichir notre connaissance biologique et culturelle de cette population.

Contribution of the virtual reconstruction of the pelvis Regourdou 1 (Dordogne, France) in the knowledge of the Neandertal obstetrical mechanics.

Keywords: Regourdou 1, paleo-obstetrics, Neandertal, pelvic morphology, virtual anthropology, geometric morphometrics, missing data estimation

Abstract: The discovery of a new Neandertal pelvis, Regourdou 1, allows discussing the functional implications of Neandertal pelvic morphology. First, the specimen is described, which offers to prove its affiliation to the Neandertal population and to highlight specific Neandertal features. Even if none of these are autapomorphic, the combinaison of these traits characterize the Neandertal pelvic belt. The pelvis Regourdou 1 is reconstructed, by an estimation of missing-data, thanks to the thin-plate splines method, applied on Kebara 2. The dimensions of Regourdou 1 birth canal are compared with those of two others Neandertal individuals (Tabun C1 and Kebara 2) as well as a modern population (n=151). The analysis of the obstetrical planes morphology (by geometric morphometrics) and the cephalo-pelvic relation highlights the presence of traits associated with rotational birth in modern Human. Our work attests the existence of modern type obstetrical mechanics, in Neandertal. This interpretation allows enriching our biological and cultural knowledge of this population.

Thèse effectuée au sein de l'UMR 5199 PACEA, équipe A3P (Anthropologie des populations passes et presents), Université Bordeaux 1, Avenue des Facultés, Bâtiment B8, 33405 Talence cedex.