



HAL
open science

Étude des modes de subsistance de populations néolithiques (VIe-IVe millénaires av. J.-C.) dans le nord-ouest de la Méditerranée. Approche par l'utilisation des isotopes stables (d13C et d15N) du collagène

Gwenaëlle Le Bras-Goude

► **To cite this version:**

Gwenaëlle Le Bras-Goude. Étude des modes de subsistance de populations néolithiques (VIe-IVe millénaires av. J.-C.) dans le nord-ouest de la Méditerranée. Approche par l'utilisation des isotopes stables (d13C et d15N) du collagène. Anthropologie biologique. Université Sciences et Technologies - Bordeaux I; Universität Leipzig, 2007. Français. NNT: . tel-00335785

HAL Id: tel-00335785

<https://theses.hal.science/tel-00335785v1>

Submitted on 30 Oct 2008

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 : 3369

THÈSE
en cotutelle entre

L'UNIVERSITÉ BORDEAUX 1
ÉCOLE DOCTORALE DES SCIENCES DU VIVANT, GEOSCIENCES ET SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

et
L'UNIVERSITÉ DE LEIPZIG
FACULTÉ DE BIOLOGIE, PHARMACIE ET PSYCHOLOGIE

présentée à
L'UNIVERSITÉ BORDEAUX 1

par
Gwenaëlle GOUDE

Pour obtenir le grade de
DOCTEUR

Spécialité : **ANTHROPOLOGIE BIOLOGIQUE**

**Étude des modes de subsistance de populations néolithiques (VI^e-IV^e
millénaires av. J.-C.) dans le nord-ouest de la Méditerranée. Approche
par l'utilisation des isotopes stables ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) du collagène**

Soutenue le 10 mai 2007

Après avis de :

M. Scarre Chris, Professeur, Université de Durham
M. Vaquer Jean, Directeur de Recherche au CNRS, UMR 5608

Rapporteur
Rapporteur

Devant la commission d'examen formée de :

Mlle Balasse Marie, Chargée de Recherche au CNRS, UMR 5197
Mme Couture Christine, Maître de Conférences, Université Bordeaux 1
M. Hublin Jean-Jacques, Professeur, Institut Max Planck EVA, Leipzig
M. Murail Pascal, Professeur, Université Bordeaux 1
M. Richards Mike, Professeur, Institut Max Planck EVA, Leipzig
M. Scarre Chris, Professeur, Université de Durham
M. Teegen Wolf-Rüdiger, Privat Dozent, Université de Leipzig
M. Vaquer Jean, Directeur de Recherche au CNRS, UMR 5608

Directeur de thèse
Directeur de thèse
Président du jury

M. Duday Henri, Directeur de Recherche au CNRS, UMR 5199
M. Malaizé Bruno, Maître de Conférences, Université Bordeaux 1

Membre invité
Membre invité

-2007-

A Mickaël

A ma Famille
et mes Amis

Il y a autant de réalités que d'individus: c'est une vérité de La Palice. Je passe à côté d'un champ de blé. Il y a le champ de blé du paysan qui l'a semé, qui escompte la récolte, pense à tout ce qu'il pourra payer avec l'argent que rapportera le blé; il y a le champ de blé près duquel je passe [...] et je serais plutôt tenté d'admirer dans ce champ de blé le magnifique vert des chardons et le beau rouge des coquelicots que j'interprète comme le travail de Cellini et du sang vermeil, alors que le vrai paysan s'en désespère et suppose combien ces chardons secs seront désagréable au battage. Il y a le champ de blé de l'économiste distingué; il y a le champ de blé du citadin en ballade; il y a le champ de blé de Van Gogh, mais il n'y a pas le champ de blé du manieur de réalités. Ni le paysan, ni moi-même, ni l'économiste, ni Van Gogh ne sommes dans la réalité. Tout ce que nous pouvons transmettre c'est l'idée que nous nous faisons du champ de blé. Il en est des êtres comme des choses. De là les passions.

Jean Giono
La chasse au bonheur

REMERCIEMENTS

J'ai reçu au cours de ces années l'aide et le soutien de nombreuses personnes, amis, famille, chercheurs, étudiants, personnels de Musées, de S.R.A, d'Universités, de l'INRAP que que souhaite vivement remercier.

Je remercie,

Jean-Jacques Hublin et Christine Couture, pour m'avoir permis de réaliser ce travail, dirigé ma thèse et m'avoir fait confiance.

Le Professeur Chris Scarre d'avoir accepté d'être rapporteur de ce travail et de faire partie du jury de soutenance.

Jean Vaquer, pour avoir accepté d'être rapporteur de ce travail et de faire partie du jury de soutenance. Son implication continuelle, son soutien et son aide pour l'accès aux collections, sa participation aux articles et aux colloques et sa confiance ont grandement contribué à la qualité de ce travail.

Marie Balasse. Son soutien continu, ses conseils et ses nombreuses corrections ont rythmé mon travail depuis le DEA. Sa présence dans les membres du jury me fait honneur et mes remerciements ne suffiront pas pour gratifier la hauteur de son implication.

Mike Richards. L'aboutissement de ce travail n'aurait pas pu se faire sans son encadrement, ses conseils et ses corrections et je le remercie aussi de sa présence dans les membres du jury.

Le Privat Dozent Dr. Wolf-Rüdiger Teegen et le Professeur Pascal Murail d'avoir accepté d'être membres du jury de soutenance.

Henri Duday. Nos discussions, ses remarques pertinentes et son aide pour l'acquisition de collections m'ont permis de mener à bien ce travail. Je le remercie également pour sa participation au jury de soutenance.

Bruno Malaizé. Sa disponibilité et son soutien m'ont permis de mener à bien mon travail depuis le DEA et sa participation au jury de soutenance me fait grandement plaisir.

Didier Binder et Vincenzo Formicola. Leur aide dans l'accès aux collections, leurs nombreuses remarques, leurs corrections, leurs participations aux articles et aux colloques, leur confiance dans ma collaboration à l'étude des collections, ainsi que les discussions scientifiques ont très largement contribué au bon déroulement de ce travail ;

Estelle Herrscher, avec qui j'ai pris plaisir à travailler en collaboration, mais aussi pour ses conseils, ses corrections et son soutien amical.

Anne-Marie Tillier et Bruno Maureille, directeurs du laboratoire d'Anthropologie des Populations du Passé et Jacques Jaubert, directeur de l'UMR PACEA 5199, de m'avoir accueilli au sein de l'UMR.

Franz Häuser, recteur de l'Université de Leipzig et Kurt Eger, doyen de la faculté de biologie, pharmacie et psychologie, de m'avoir permis d'effectuer ce travail dans le cadre d'une co-tutelle de thèse avec l'Allemagne.

Phillippe Bertrand de m'avoir accueilli au sein du Laboratoire EPOC, UMR 5805 du Département de Géologie et d'Océanographie (Université Bordeaux 1).

Karine Charlier et Isabelle Billy. Leur disponibilité et leur soutien permanent à la fois technique, scientifique et amical m'ont permis de travailler dans de bonnes conditions.

Phillipe Martinez ainsi que le reste de l'équipe du laboratoire qui ont contribué à ma formation, et pour leur soutien.

Le Département d'Evolution Humaine et l'Institut Max Planck d'Anthropologie Evolutive à Leipzig, dans lequel j'ai bénéficié d'un encadrement technique et scientifique, grâce à Annette Weiske, Gillian Taylor, Stefani Bösel et Mandi Jay ainsi que Gundula Müldner pour les traductions en allemand ;

Silke Streiber, Diana Carstens, Heiko Temming et Michael Gasch, qui ont géré au mieux les parties administratives et de logistique informatique me permettant un travail plus confortable.

Francis Houët, à qui je dois toutes mes réflexions sur le travail statistique, pour sa patience, ses qualités pédagogiques et sa disponibilité ; Maryelle Bessou, Phillipe Léon, Maggy Seurin, Geneviève Rauber, Dominique Armand, Eric Pubert, Geneviève Papy et Alan Mann, pour leur aide technique, scientifique et bibliographique, ainsi que Pascale Gallibert (INRAP) pour l'iconographie.

Lionel Gourichon et Daniel Helmer, pour leur aide dans l'échantillonnage de la faune des sites de Pendimoun et de Fontbrégoua.

La *Soprintendenza per i Beni Archeologici della Liguria*, Giuseppe Vicino et Patricia Garibaldi, pour leur autorisation et leur aide précieuse dans l'étude de la collection des Arene candide ainsi que Roberto Maggi et Claudio Sorrentino.

Françoise Claustre, que j'ai eu la chance de rencontrer avant qu'elle nous quitte, pour m'avoir chaleureusement accueilli au Musée de Céret, mais aussi pour ses conseils et sa gentillesse ; Denis Loirat pour l'échantillonnage de la faune du site de Montou.

Isabelle Carrère, pour son aide dans l'échantillonnage de la faune du site des Plots ; Gilles Loison et Vianney Forest pour leur aide dans l'étude de la collection du Crès et pour les discussions scientifiques ; Gaëlle Jédikian, Vanessa Léa, Mila Tchérémissinoff, Alain Vigneau, les membres de l'ACR dirigée par Jean Vaquer avec qui j'ai eu le plaisir de travailler et qui m'ont aidé dans la réflexion sur les résultats des sites chasséens.

Le Musée d'Anthropologie préhistorique de Monaco et Patrick Simon, pour son aide et sa confiance dans l'étude des collections du Rastel et de Pendimoun.

Le Musée de Préhistoire de Quinson, Jean Gagnepain, Isabelle Dubset et Caroline Luzi pour leur autorisation et leur aide dans l'étude de la collection de Fontbrégoua et bien entendu Jean Courtin que j'ai eu le plaisir de rencontrer à cette occasion et que je remercie de sa confiance et de son aide.

Le Musée de Châteauneuf-les-Martigues et Jany Giry pour l'accès et l'aide concernant l'étude de la collection de la grotte Sicard.

Le Musée Requien à Avignon, son personnel et Évelyne Crégut, pour son aide et son autorisation dans l'étude de la collection de la grotte d'Unang ainsi que Claude Bouville pour l'accès au matériel osseux humain et Maurice Paccard.

Le SRA de la région PACA et Jacques Buisson-Catil pour son aide dans l'accès aux collections et pour ses conseils, ainsi que Bruno Bizot.

Le SRA de la région Languedoc-Roussillon et Jean-Michel Pène pour l'autorisation et l'aide pour l'accès et l'étude de la collection de la Baume Bourbon ainsi que Jean-Louis Roudil.

Le CNRS et la région Aquitaine, pour les financements d'une Bourse Doctorat Ingénieur de 2003 à 2006.

Claude Mannigan et Pierre de l'Unité de Biophysique Structurale UMR 5471, pour leur précieuse aide technique et leur gentillesse.

Jean-Denis Vigne, Anne Tresset, Guy Jalut, Maria Sanchez Goni, Mark Guillon, Emmanuelle Pouydebat, Jacques Collina-Girard, Annie Hubert et Frédéric Duhart pour leur aide bibliographique et leurs conseils concernant ce travail mais aussi la recherche au quotidien.

Messieurs Cesari, Leandri, Magdeleine, ainsi que Madame de Lanfranchi et le Musée de Sartène, pour leur soutien dans l'orientation de mes recherches vers la Corse ; Maryanne Tafuri, Giorgio Manzi et le laboratoire de Paléanthropologie et Paléobiologie humaine pour leur soutien dans l'orientation de mes recherches en Ligurie.

Yves, Céline, Esther, Caroline, Sandrine, Laurent, Laure, Lenaïc, Sandra, Rania, Enza, Sacha et tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont aidé.

Ma famille et Mickaël qui ont toute ma gratitude.

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES.....	- 12 -
LISTE DES TABLEAUX	- 16 -
LISTE DES ANNEXES	- 19 -
PREAMBULE	- 23 -
CHAPITRE I - CONTEXTE DE L'ETUDE ENVIRONNEMENTALE ET ARCHEOLOGIQUE AU NEOLITHIQUE ANCIEN ET MOYEN DANS LE NORD-OUEST DE LA MEDITERRANEE	- 27 -
A - LE NEOLITHIQUE ANCIEN ET MOYEN : ETAT ACTUEL DES CONNAISSANCES DES POPULATIONS DU NORD-OUEST DE LA MEDITERRANEE.....	- 29 -
1 - <i>Évolution du climat et de la végétation.....</i>	- 29 -
2 - <i>La néolithisation : essor en Europe occidentale et cadre spatio-temporel</i>	- 31 -
a. Définition et caractérisation de la néolithisation	- 31 -
b. Voies et processus de néolithisation.....	- 31 -
3 - <i>Les populations et leur mode de vie.....</i>	- 35 -
a. Les différentes cultures.....	- 35 -
b. Habitat et mobilité.....	- 36 -
c. Économie matérielle	- 38 -
4 - <i>Structure sociale, pratiques funéraires et données biologiques</i>	- 41 -
a. Structure sociale	- 41 -
b. Les pratiques funéraires	- 41 -
c. Biologie et état sanitaire	- 43 -
5 - <i>L'économie de subsistance</i>	- 45 -
a. De la mise en place de la domestication végétale aux véritables agriculteurs	- 46 -
b. L'exploitation des végétaux sauvages.....	- 47 -
c. Élevage et chasse au Néolithique : choix symbolique ou culturel ?.....	- 48 -
d. Ressources aquatiques : où, quand, combien ?	- 52 -
e. Et les insectes ?.....	- 53 -
B - ÉTUDE DES MODES DE SUBSISTANCE PAR L'UTILISATION DES ISOTOPES STABLES (CARBONE ET AZOTE) DU COLLAGENE OSSEUX : ETAT DE LA QUESTION ET PROBLEMATIQUE	- 55 -
1- <i>La biochimie isotopique : de la connaissance de l'individu à celle de la population ..</i>	- 55 -
2 - <i>Les études isotopiques déjà réalisées : un contraste géographique et culturel.....</i>	- 56 -
3 - <i>Problématique d'étude : compléter les données sur les modes de subsistance au Néolithique dans le nord-ouest de la Méditerranée.....</i>	- 57 -
CHAPITRE II - METHODOLOGIE, MATERIEL D'ETUDE ET TECHNIQUES	- 59 -
A - LES ISOTOPES STABLES ($\Delta^{13}\text{C}$ ET $\Delta^{15}\text{N}$) : TEMOIGNAGE DU PASSE	- 61 -
1- <i>Introduction et historique</i>	- 61 -
2 - <i>Les isotopes stables : définition, rapport et fractionnement.....</i>	- 63 -
a. Définition.....	- 63 -
b. L'abondance isotopique	- 63 -
c. Le fractionnement isotopique	- 64 -
3 - <i>Abondances isotopiques du carbone.....</i>	- 64 -
a. Le carbone chez les végétaux	- 64 -
b. Le $\delta^{13}\text{C}$ le long de la chaîne trophique terrestre.....	- 69 -
c. Le $\delta^{13}\text{C}$ le long de la chaîne trophique marine	- 70 -

d. Effet des préparations culinaires	- 71 -
e. Modification récente du $\delta^{13}\text{C}$ de l'atmosphère	- 72 -
f. Consommation de ressources marines et datations radiocarbone	- 72 -
4 - <i>Abondances isotopiques de l'azote</i>	- 73 -
a. L'azote chez les végétaux	- 73 -
b. Facteurs de modifications du $\delta^{15}\text{N}$ chez les végétaux	- 74 -
c. Le $\delta^{15}\text{N}$ le long de la chaîne trophique terrestre	- 75 -
d. Le $\delta^{15}\text{N}$ le long des chaînes trophiques aquatiques	- 78 -
e. Facteurs des modifications du $\delta^{15}\text{N}$ dans le collagène osseux	- 78 -
f. Les cas de l'allaitement et du sevrage	- 80 -
5 - <i>De l'importance d'étudier l'écosystème des populations</i>	- 81 -
6 - <i>Déterminer la proportion des ressources consommées : des modèles</i>	- 82 -
7 - <i>Intérêts et limites de la méthode</i>	- 83 -
B – LES FACTEURS BIOLOGIQUES ET ARCHEOLOGIQUES ET LEUR INTERET DANS LA PROBLEMATIQUE	- 85 -
1- <i>Le sexe, l'âge et la stature</i>	- 86 -
a. Le sexe	- 86 -
b. L'âge au décès	- 87 -
c. La stature	- 89 -
2- <i>L'état sanitaire</i>	- 89 -
a. L'attrition dentaire et la carie	- 90 -
b. Le tartre et les maladies du parodonte	- 91 -
c. Marqueurs de stress non spécifique : hypoplasies de l'émail dentaire lignes de Harris et hyperostose poreuse	- 92 -
d. Suture métopique	- 93 -
e. Les pathologies invalidantes	- 93 -
3- <i>Les pratiques funéraires</i>	- 94 -
C - MATERIAUX D'ETUDE	- 95 -
1 - <i>Introduction</i>	- 95 -
2 - <i>Le tissu osseux</i>	- 95 -
a. Composition	- 95 -
b. Les différents tissus osseux	- 96 -
c. Ossification et croissance	- 96 -
d. Remodelage	- 97 -
3 - <i>Les tissus dentaires</i>	- 98 -
4 - <i>La matière organique</i>	- 99 -
a. Le collagène	- 99 -
b. Les acides aminés du collagène	- 101 -
D- PRELEVEMENT, QUANTITE ET QUALITE DE LA MATIERE ORGANIQUE OSSEUSE	- 103 -
1- <i>Échantillonnage et zone de prélèvement</i>	- 103 -
2- <i>Quantité de matière organique osseuse résiduelle</i>	- 104 -
a. Vérification de la quantité de matière organique résiduelle	- 104 -
b. État de conservation général des ossements néolithiques du sud de la France	- 105 -
3- <i>Vérification de la qualité du collagène extrait</i>	- 107 -
a. Rendement d'extraction du collagène	- 107 -
b. Les proportions de carbone et d'azote du collagène extrait	- 107 -
E – L'OUTIL STATISTIQUE : ANALYSES DES DONNEES ET TESTS APPROPRIES	- 109 -
1- <i>La distribution des variables</i>	- 109 -
2- <i>Les tests statistiques</i>	- 109 -
3- <i>Significativité des résultats</i>	- 110 -

F - COMPARAISON METHODOLOGIQUE	- 111 -
1 - <i>Extraction de la matière organique et analyses isotopiques</i>	- 111 -
a. Extraction et analyse du collagène réalisées au laboratoire EPOC (Bordeaux, France) ..	111 -
b. Extraction du collagène au laboratoire MPI-EVA et analyses réalisées aux laboratoires Iso-Analytical et MPI-EVA	- 113 -
c. Comparaison analytique des spectromètres de masse isotopiques	- 114 -
2- <i>Comparaison des chaînes opératoires : proposition d'étude de répliquas</i>	- 115 -
a. Comparaison de deux méthodes d'extraction du collagène	- 115 -
b. Comparaisons des résultats	- 117 -
c. Comparaison du collagène répliqué dans deux laboratoires	- 121 -
3 - <i>Valeurs isotopiques et interprétations anthropologiques : choix de présentation des données</i>	- 127 -
CHAPITRE III - LES PHASES ANCIENNES DU NEOLITHIQUE : ETUDE DES SITES ARCHEOLOGIQUES	- 129 -
A - LE CHOIX DES SITES ARCHEOLOGIQUES	- 131 -
1 - <i>Répartition des sites archéologiques en région méditerranéenne</i>	- 131 -
2 - <i>Choix des collections</i>	- 132 -
B - LE NEOLITHIQUE ANCIEN CARDIAL	- 134 -
1 - <i>L'abri Pendimoun (Castellar, Alpes-Maritimes, France)</i>	- 134 -
a. Contexte archéologique	- 134 -
b. Datations	- 137 -
c. Étude isotopique	- 138 -
d. Synthèse de l'étude de Pendimoun	- 142 -
2 - <i>La grotte d'Unang (Malemort du Comtat, Vaucluse, France)</i>	- 144 -
a. Contexte archéologique	- 144 -
a.1 Le site archéologique	- 144 -
b. Datations	- 148 -
c. Étude isotopique	- 148 -
d. Synthèse de l'étude de la grotte d'Unang	- 151 -
3 - <i>La grotte Sicard (Châteauneuf-les-Martigues, Bouches-du-Rhône, France)</i>	- 153 -
a. Contexte archéologique	- 153 -
b. Étude isotopique	- 154 -
c. Synthèse de l'étude de la grotte Sicard	- 159 -
4 - <i>La Baume Bourbon (Cabrières, Gard, France)</i>	- 161 -
a. Contexte archéologique	- 161 -
b. Datations	- 164 -
c. Étude isotopique	- 164 -
d. Synthèse de l'étude de la Baume Bourbon	- 170 -
C - LE NEOLITHIQUE DE TYPE FONTBREGOUA ET LE VBQ	- 171 -
1 <i>La Baume Fontbrégoua (Salernes, Var, France)</i>	- 171 -
a. Contexte archéologique	- 171 -
b. Datations	- 175 -
c. Étude isotopique	- 175 -
d. Synthèse de l'étude de la Baume Fontbrégoua	- 180 -
2 - <i>Le Rastel (Peillon, Alpes-Maritimes, France)</i>	- 182 -
a. Contexte archéologique	- 182 -
b. Datations	- 184 -
c. Estimation de l'âge au décès : nouveaux éléments	- 185 -

d. Étude isotopique	- 185 -
3 - <i>Les Arene Candide (Finale Ligure, Savone, Italie)</i>	- 189 -
a. Contexte archéologique	- 189 -
b. L'alimentation sur le site des Arene Candide : une question approfondie.....	- 197 -
c. Datations	- 197 -
d. Étude isotopique	- 198 -
e. Synthèse de l'étude des Arene Candide	- 205 -
CHAPITRE IV - LE MONTBOLO ET LE CHASSEEN MERIDIONAL : ETUDE DES SITES ARCHEOLOGIQUES.....	- 207 -
A - CADRE DE L'ETUDE	- 209 -
B - LE MONTBOLO ET LE CHASSEEN MERIDIONAL.....	- 210 -
1 - <i>la grotte de Montou (Corbères-les-Cabanes, Pyrénées-Orientales, France)</i>	- 210 -
a. Contexte archéologique	- 210 -
b. Datations.....	- 213 -
c. Étude isotopique	- 214 -
d. Synthèse de l'étude de la grotte de Montou par l'ensemble des analyses.....	- 220 -
2 - <i>les Plots (Berriac, Aude, France)</i>	- 222 -
a. Contexte archéologique	- 222 -
b. Datations.....	- 224 -
c. Étude isotopique	- 224 -
d. Synthèse de l'étude des Plots	- 231 -
3 - <i>Le Crès (Béziers, Hérault, France)</i>	- 232 -
a. Contexte archéologique	- 232 -
b. Datations.....	- 235 -
c. Étude isotopique	- 235 -
<i>La stature</i>	- 254 -
d. Synthèse de l'étude du Crès	- 270 -
4 - <i>Coste Rouge (Beaufort, Hérault, France)</i>	- 271 -
a. Contexte archéologique	- 271 -
b. Datations.....	- 272 -
c. Étude isotopique	- 273 -
d. Synthèse de l'étude de Coste Rouge	- 276 -
CHAPITRE V - ANALYSE COMPARATIVE ET DISCUSSION.....	- 277 -
A- SYNTHÈSE SUR L'ÉTAT DE CONSERVATION ET SUR L'ANALYSE COMPARATIVE DES DONNÉES ISOTOPIQUES	- 279 -
1- <i>Etat de conservation général de la matière organique résiduelle</i>	- 279 -
a. Aux phases anciennes du Néolithique	- 279 -
b. Au Montbolo et Chasséen	- 279 -
c. Sur l'ensemble du Néolithique	- 280 -
2- <i>Analyse comparative des données isotopiques</i>	- 281 -
a. Zones géographiques et culturelles : rappel et avertissement	- 281 -
b. Les phases anciennes du Néolithique.....	- 282 -
c. Le Montbolo et le Chasséen	- 289 -
B- L'OUEST DE LA MEDITERRANEE : ESSAI D'ETUDE DIACHRONIQUE	- 306 -
1- <i>Présentation des études</i>	- 307 -
a. Gravettien, épigravettiens et mésolithiques d'Italie	- 307 -
b. Les mésolithiques de Corse.....	- 310 -
c. Les mésolithiques de l'Espagne méditerranéenne.....	- 310 -

e. Le Néolithique	- 311 -
2- <i>Evolution des modes de subsistance de populations côtières</i>	- 312 -
a. Du Paléolithique au Mésolithique	- 312 -
b. Du Cardial au Néolithique récent.....	- 313 -
c. Du Paléolithique au Néolithique récent.....	- 315 -
3- <i>Synthèse d'une approche diachronique</i>	- 316 -
SYNTHESE GENERALE ET CONCLUSION	- 319 -
PERSPECTIVES	- 324 -
BIBLIOGRAPHIE	- 329 -
ANNEXES	- 371 -
<i>Annexes du chapitre II</i>	- 373 -
<i>Annexes des chapitres III et IV</i>	- 393 -
<i>Annexes du chapitre V</i>	- 409 -

Liste des figures

- Fig. 1. Limites spatio-temporelles des étapes majeures de la première néolithisation européenne (d'après Mazurié de Kéroualin, 2003 ; p 160 ; infographie G. Le Bras-Goude). Flèche : espace géographique et culturel étudié..... - 32 -
- Fig. 2. Lames, éléments de faucille et armatures de flèches du site de Fontbrégoua (cliché J. Courtin dans Courtin, 2000)..... - 39 -
- Fig. 3. Chien en contexte sépulcral sur le site du Crès (cliché G. Loison). - 43 -
- Fig. 4. Parcage dans la grotte d'Uzzo (Sicile) (cliché J. Courtin dans Courtin, 2000). - 49 -
- Fig. 5. Bimodalité des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ mesurées sur des végétaux, correspondant à des photosynthèses C_3 et C_4 (d'après Deines, 1980)..... - 65 -
- Fig. 6. Enregistrement en $\delta^{13}\text{C}$ dans le collagène des tissus osseux et dentaire le long de la chaîne trophique (d'après Bocherens, 1992 ; infographie B. Goude et M. Seurin). - 70 -
- Fig. 7. Enregistrement en $\delta^{15}\text{N}$ dans le collagène du tissu osseux le long de la chaîne trophique (d'après Bocherens, 1992; infographie B. Goude et M. Seurin)..... - 77 -
- Fig. 8. Exemple de reconstitution d'écosystèmes de milieu tempéré (C_3) et marin par les $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ (infographie Le Bras-Goude d'après une compilation de données publiées). - 81 -
- Fig. 9. Structure osseuse et système haversien (Platzer, 2001 ; Sobotta, 2002). - 96 -
- Fig. 10. Structure dentaire (Cate, 1994 ; Hillson, 1996 ; Sobotta, 2002)..... - 99 -
- Fig. 11. Fibre de collagène ; d'après (Campbell, 1995). - 100 -
- Fig. 12. Relations entre les proportions de C et N dans les ossements et entre les proportions de C excédentaires et de N des ossements archéologiques. En deçà de 0,4% de N, l'extraction de collagène n'est pas tentée. - 106 -
- Fig. 13. Analyseur élémentaire et spectromètre de masse isotopique du laboratoire EPOC (cliché Charlier). - 112 -
- Fig. 14. $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$ et écart-type des standards N1, N2 et CH7 obtenues par les spectromètres de masse isotopique de différents laboratoires et sa valeur certifiée par l'IAEA. - 115 -
- Fig. 15. Schéma des différentes méthodes d'extraction du collagène effectuées au laboratoire EPOC et au laboratoire MPI-EVA. - 116 -
- Fig. 16. Résultats des valeurs isotopiques et teneurs élémentaires du laboratoire EPOC en fonction du laboratoire Iso-Analytical. - 119 -
- Fig. 17. Rendements d'extraction obtenus au laboratoire EPOC en fonction de ceux obtenus au laboratoire MPI-EVA. - 120 -
- Fig. 18. Localisation des sites archéologiques sélectionnés. En blanc : sites datés des phases anciennes du Néolithique ; en noir : sites datés du Montbolo et du Chasséen..... - 133 -
- Fig. 19. Localisation du site archéologique de Pendimoun, Castellar, Alpes-Maritimes, France. ... - 134 -
- Fig. 20. Phases de la fouille de la sépulture 2 (Binder *et al.*, 1993)..... - 137 -
- Fig. 21. Teneur en carbone et en azote du collagène des restes osseux (et dentaire) animaux et humains de Pendimoun. - 139 -
- Fig. 22. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du collagène des restes osseux animaux et humains de Pendimoun - 141 -
- Fig. 23. Localisation du site archéologique de la grotte d'Unang, Gorges de la Nesques, Vaucluse, France. - 144 -
- Fig. 24. Proportions d'individus de faunes sauvages et domestiques dans la totalité des ensembles du Néolithique. Etude de Poulain-Josien (1993)..... - 145 -
- Fig. 25. Sépulture E.F.-5.6-7 (gauche) et sépulture 80 (droite) du site d'Unang (Bouville, 1993) . - 147 -

Fig. 26. Teneur en carbone et en azote du collagène des restes osseux animaux et humains d'Unang.....	- 149 -
Fig. 27. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du collagène des restes osseux animaux et humains d'Unang.	- 150 -
Fig. 28. Localisation du site archéologique de la grotte Sicard, Castellans de Châteauneuf-les-Martigues, Bouches-du-Rhône, France.....	- 153 -
Fig. 29. Coupe de la grotte Sicard (Charles, 1951). 1-Couche de cailloutis et terre végétale ; 2-argile rouge de décalcification ; 3-plancher stalagmitique ; 4-gravier ; 5-couches contenant les squelettes ; 6-coffrage à incinération ; 7-remaniement.....	- 154 -
Fig. 30. Teneur en carbone et en azote du collagène des restes osseux animaux et humains de la grotte Sicard.	- 156 -
Fig. 31. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du collagène des restes osseux humains de Sicard et animaux des Arene Candide.....	- 157 -
Fig. 32. Variations relatives du niveau marin en Provence (Vella et Morhange, 2005) (p 57). Cerclage : niveau marin correspondant à la période étudiée.....	- 158 -
Fig. 33. Localisation du site archéologique de la Baume Bourbon, Cabrières, Gard, France.-	161 -
Fig. 34. Plan de la Baume Bourbon (A. Coste dans Coste <i>et al.</i> , 1987). S1, S2 et S3 : ensembles sépulcraux ; les échantillons proviennent des zones S2 et S3. Grandes flèches : axes de soutirage des sédiments ; petites flèches : sens de circulation des eaux ; hachures serrées : piliers stalagmitiques.....	- 162 -
Fig. 35. Teneur en carbone et en azote du collagène des restes osseux animaux et humains de la Baume Bourbon.....	- 166 -
Fig. 36. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du collagène des restes osseux animaux et humains de la Baume Bourbon. .	- 168 -
Fig. 37. Localisation du site archéologique de la Baume Fontbrégoua, Salernes, Var, France.-	171 -
Fig. 38. Proportions de faunes sauvages et domestiques terrestres dans le secteur central du site de Fontbrégoua au Néolithique ancien (NA) et moyen (NM) d'après l'étude de Helmer (1979).	- 173 -
Fig. 39. Plan de la grotte de Fontbrégoua pour le Néolithique ancien et localisation des structures fouillées (Villa, P. <i>et al.</i> , 1986). La plupart des restes humains échantillonnés se situent dans les structures H1, H2 et H3.	- 174 -
Fig. 40. Traces de découpe sur un crâne néolithique retrouvé à la Baume Fontbrégoua (cliché J. Courtin dans Courtin, 2000).....	- 174 -
Fig. 41. Moulages de fragments osseux de Fontbrégoua.	- 176 -
Fig. 42. Teneur en carbone et en azote du collagène des restes osseux animaux et humains de Fontbrégoua.....	- 177 -
Fig. 43. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du collagène des restes osseux animaux et humains de Fontbrégoua ...	- 180 -
Fig. 44. Localisation du site archéologique du Rastel, Le Peillon, Alpes-maritimes, France.-	182 -
Fig. 45. L'homme du Rastel (Barral et Primard, 1962).	- 184 -
Fig. 46. Coxal gauche de l'individu du Rastel (cliché Musée d'anthropologie préhistorique de Monaco).	- 185 -
Fig. 47. Teneur en carbone et en azote du collagène de l'échantillon osseux de l'homme du Rastel.	- 186 -
Fig. 48. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du collagène des restes osseux animaux de Pendimoun et de l'homme du Rastel.....	- 187 -
Fig. 49. Localisation du site archéologique des Arene Candide, Finale Ligure, Savona, Ligurie, Italie.....	- 189 -
Fig. 50. Vase à bouche carrée du Néolithique moyen des Arene Candide (www.museoarcheofinale.it)	- 190 -

Fig. 51. Pourcentages de survie des caprinés (chèvres-moutons) sur le site des Arene Candide au Néolithique ancien et au VBQ comparés aux courbes d'exploitation laitière et de la viande (fig. issue de Rowley-Conwy, 1997 p. 220).....	- 192 -
Fig. 52. A : stratigraphie des Arene Candide et position des sépultures. La zone étudiée est entourée ; B : Section de la grotte à la mer (fig. issue de Cassoli, 1980) (Bietti, 1987). -	193 -
Fig. 53. Colonne vertébrale de l'adolescent tuberculeux néolithique des Arene Candide (Canci et Formicola, 1997)	- 194 -
Fig. 54. Croquis de sépultures (manuscrit de 1888) et photos de Bernabò Brea de sépultures fouillées en 1940 (iconographie issue de Maggi, 1997).....	- 195 -
Fig. 55. Teneur en carbone et en azote du collagène des restes osseux animaux et humains des Arene Candide.....	- 199 -
Fig. 56. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du collagène des restes osseux animaux et humains des Arene Candide.-	201 -
Fig. 57 Localisation du site archéologique de la grotte de Montou, Corbères-les-Cabanes, Pyrénées-Orientales, France.....	- 211 -
Fig. 58. Proportion des faunes sauvage et domestique dans le secteur d'habitat (Loirat, 2000).	- 212 -
Fig. 59. Répartition des classes d'âge et NR des restes dentaires des moutons, des cochons et des bœufs dans le secteur d'habitat. Etude réalisée par D. Loirat (2000).	- 212 -
Fig. 60 La sépulture néolithique Montbolo de la grotte de Montou (Valentin <i>et al.</i> , 2003)... -	213 -
Fig. 61. Teneur en carbone et en azote du collagène des restes osseux animaux et humains de Montou (Analyses MPI-EVA et EPOC).	- 215 -
Fig. 62. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du collagène des restes osseux animaux et humains de Montou (analyses MPI-EVA et EPOC).....	- 218 -
Fig. 63. Localisation du site archéologique des Plots, Berriac, Aude, France.	- 222 -
Fig. 64. Sépultures 49 et 36 des Plots (Photos J. Vaquer).....	- 223 -
Fig. 65. Détail de l'usure dentaire du côté gauche du maxillaire de l'individu F49 (cliché Le Bras-Goude).....	- 224 -
Fig. 66. Teneur en carbone et en azote du collagène des restes osseux animaux et humains des Plots (analyses MPI-EVA et EPOC).....	- 226 -
Fig. 67. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du collagène des restes osseux animaux des individus humains des Plots (analyses MPI-EVA et EPOC).....	- 229 -
Fig. 68. Localisation du site archéologique du Crès, Béziers, Hérault, France.	- 232 -
Fig. 69. Pendentifs retrouvés en milieu funéraire (iconographie issue de Loison <i>et al.</i> , 2004)-	233 -
Fig. 70. Différentes phases de dégagement de la sépulture 22, la tombe la plus monumentale du site (Loison <i>et al.</i> , 2004).....	- 235 -
Fig. 71. Teneur en carbone et en azote du collagène des restes osseux animaux et humains du Crès (analyses MPI-EVA et EPOC).....	- 237 -
Fig. 72. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du collagène des restes osseux animaux et humains du Crès (analyses MPI-EVA et EPOC).	- 240 -
Fig. 73. $\delta^{15}\text{N}$ du collagène en fonction de l'âge au décès des immatures sur le site du Crès à partir des analyses MPI-EVA.....	- 251 -
Fig. 74. $\delta^{15}\text{N}$ du collagène osseux et stature estimée pour les individus féminins et masculins du Crès (analyses MPI-EVA et EPOC).....	- 256 -
Fig. 75. Schémas des différentes morphologies de fosses funéraires sur le site du Crès (iconographie issue de Loison <i>et al.</i> , 2004).	- 259 -
Fig. 76. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des individus humains du Crès répartis dans les différents types de fosses..	- 260 -

Fig. 77. Répartitions des différents types de sépultures sur le site du Crès (plan issu de Loison et al., 2004).....	- 262 -
Fig. 78. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des individus humains du Crès répartis entre sépultures individuelles et plurielles.....	- 263 -
Fig. 79. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des individus humains du Crès répartis dans les différents secteurs du site. .	- 265 -
Fig. 80. Ensembles de structures et de sépultures sur le site du Crès (plan issu de Loison <i>et al.</i> , 2004).....	- 266 -
Fig. 81. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des individus humains du Crès répartis en deux groupes définis par des critères archéologiques.....	- 269 -
Fig. 82. Localisation du site archéologique de Coste Rouge, Beaufort, Hérault, France.	- 271 -
Fig. 83. Sépulture de Coste Rouge (cliché J. Vaquer)	- 272 -
Fig. 84. Fémur de l'enfant de Coste Rouge échantillonné pour l'analyse isotopique et la datation radiocarbone (cliché le Bras-Goude).....	- 272 -
Fig. 85. Teneur en carbone et en azote du collagène de l'échantillon osseux de l'enfant de Coste Rouge (analyses MPI-EVA et EPOC).	- 273 -
Fig. 86. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du collagène du reste osseux de l'enfant de Coste Rouge (analyses MPI-EVA et EPOC).	- 275 -
Fig. 87. Localisation de l'ensemble des sites archéologiques étudiés.	- 281 -
Fig. 88. Répartition chronologique des sites néolithiques étudiés. Certains sites comportent des incertitudes chronologiques (?).	- 282 -
Fig. 89. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ de Bovins, caprinés et suinés des sites des phases anciennes du Néolithique.-	284 -
Fig. 90. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ et écart-type à 1 σ des différentes espèces des sites des phases anciennes du Néolithique.	- 285 -
Fig. 91. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ et écart-type à 1 σ des différentes espèces animales et des populations humaines des sites des phases anciennes du Néolithique.	- 288 -
Fig. 92. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ de Bovins, caprinés et suinés des sites du Néolithique moyen Montbolo et Chasséen.....	- 292 -
Fig. 93. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ et écart-type à 1 σ des différentes espèces des sites du Montbolo et du Chasséen.....	- 293 -
Fig. 94. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ et écart-type à 1 σ des différentes espèces animales et des populations humaines des sites du Montbolo et du Chasséen.	- 296 -
Fig. 95. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des chiens et de la population humaine du Crès et de Montou (analyses MPI-EVA et EPOC).....	- 298 -
Fig. 96. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des chiens et des populations humaines de la région arctique (A ; extrait de Coltrain <i>et al.</i> , 2004), des îles Fidji (B ; extrait de Valentin <i>et al.</i> , 2006) et d'Europe centrale (C ; extrait de Le Huray et Shutkowski, 2005 d'après Murray et Schoeninger, 1988)... -	300 -
Fig. 97. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$, moyenne et écart-type à 1 σ des bovins, des caprinés et des populations humaines des phases anciennes du Néolithique et du Montbolo et Chasséen.	- 304 -
Fig. 98. Localisation des sites archéologiques préhistoriques de l'ouest de la Méditerranée sur lesquels des études isotopiques ont été publiées.	- 306 -
Fig. 99. Reconstitution de la sépulture du Prince des Arene Candide (www.iabrno.cz).	- 307 -
Fig. 100. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des populations humaines, moyenne et écart-type à 1 σ des herbivores, des sites du Paléolithique supérieur au Mésolithique de l'ouest de la Méditerranée.	- 313 -
Fig. 101. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des populations humaines, moyenne et écart-type à 1 σ des herbivores domestiques, des sites du Néolithique ancien cardial au Néolithique récent en Ligurie.-	314 -
Fig. 102. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$, moyenne et écart-type à 1 σ des herbivores et des populations humaines des phases anciennes du Néolithique et du Montbolo et Chasséen comparés aux données publiées sur le Paléolithique, le Mésolithique et le Néolithique.....	- 315 -

Liste des tableaux

Tab. 1. Proportions de caries en fonction des régimes alimentaires (d'après les travaux de Borgognini-Tarli et Repetto, 1985).....	- 45 -
Tab. 2. Estimation de la participation des ressources marines à l'alimentation de populations archéologiques (écosystème sans plante C ₄) en fonction du $\delta^{13}\text{C}$	- 71 -
Tab. 3. Exemples de variation du $\delta^{13}\text{C}$ (‰) entre des échantillons ayant été influencés ou non par des facteurs naturels ou anthropiques et proportion de la variation de $\delta^{13}\text{C}$	- 72 -
Tab. 4. Exemples de variation du $\delta^{15}\text{N}$ (‰) entre des échantillons ayant été influencés ou non par différents facteurs et proportion de la variation de $\delta^{15}\text{N}$	- 79 -
Tab. 5. Composition du collagène en acides aminés ; d'après (Ambrose et Norr, 1993 ; Turban-Just et Schramm, 1998).....	- 101 -
Tab. 6. Moyenne, minimum et maximum des proportions de carbone, d'azote et de carbone excédentaire des ossements (analyses réalisées au laboratoire EPOC).....	- 105 -
Tab. 7. Résultats des valeurs isotopiques et les écarts-types des standards IAEA N2 et IAEA CH7 obtenues dans les différents laboratoires.....	- 114 -
Tab. 8. Résultats des proportions de carbone et d'azote, du rapport C/N, du rendement et des valeurs isotopiques du collagène extrait et analysé dans le laboratoire EPOC, et extrait au laboratoire MPI-EVA et analysé au laboratoire Iso-Analytical.	- 119 -
Tab. 9. Résultats des différences (EPOC-Iso-A) de proportions de carbone et d'azote, du rapport C/N, du rendement et des valeurs isotopiques du collagène entre les spectromètres. Ces différences sont présentées en valeurs absolues exceptées pour les valeurs isotopiques. Les résultats inscrits en italique sont ceux dont la différence entre les deux méthodes d'analyses semble trop importante. Les valeurs rayées sont celles dont les échantillons ne respectent pas les critères de conservation.	- 123 -
Tab. 10. Résultats des différences (EPOC-MPI-EVA) de proportions de carbone et d'azote, du rapport C/N, du rendement et des valeurs isotopiques du collagène entre les deux méthodes d'extraction. Ces différences sont présentées en valeurs absolues exceptées pour les valeurs isotopiques. Les résultats inscrits en italique sont ceux dont la différence entre les deux méthodes d'extraction semble trop importante. Les valeurs rayées sont celles dont les échantillons ne respectent pas les critères de conservation.....	- 124 -
Tab. 11. Présentation du type d'extraction, d'analyse et d'interprétation qui ont pu être réalisés sur chacun des sites archéologiques étudiés.....	- 128 -
Tab. 12. Nombre de restes (NR) et fréquences des différents taxons terrestres présents au Cardial ancien et final du site de Pendimoun. Etude réalisée par L. Gourichon (Binder, 2003). -	- 135 -
Tab. 13. Nombres de semences carbonisées présentes au Cardial et dans les sépultures des individus F1 et F2. Etude réalisée par S. Thiébault (Binder <i>et al.</i> , 1993).....	- 136 -
Tab. 14. État de conservation du collagène des restes humains et animaux de Pendimoun ...	- 139 -
Tab. 15. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, % C, % N et C/N du collagène des restes osseux humains et animaux de Pendimoun.....	- 140 -
Tab. 16. Nombre et proportions de restes de différents taxons domestiques et sauvages et par âge identifiés dans les ensembles du Néolithique ancien cardial. Etude de Poulain-Josien (1993).	- 146 -
Tab. 17. État de conservation du collagène des restes humains et animaux d'Unang.	- 148 -
Tab. 18. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, % C, % N et C/N du collagène des restes osseux humains et animaux d'Unang.....	- 149 -
Tab. 19. État de conservation du collagène des restes humains de Sicard.....	- 155 -
Tab. 20. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du collagène du reste osseux de l'individu 3 de Sicard.....	- 156 -

Tab. 21. Synthèse des observations sur l'état sanitaire dentaire de quelques individus de la salle sépulcrale 2 de la Baume Bourbon. g : gauche ; d : droite. M : molaire ; P : prémolaire ; C : canine ; I : incisive.	- 164 -
Tab. 22. État de conservation du collagène des restes humains et animaux de la Baume Bourbon.	- 165 -
Tab. 23. Corrélations entre la quantité et la qualité du collagène et sa composition isotopique sur le site de la Baume Bourbon.	- 166 -
Tab. 24. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, % C, % N et C/N du collagène des restes osseux humains et animaux de la Baume Bourbon.....	- 167 -
Tab. 25. Nombre et proportion de restes des espèces présentes dans le secteur central du site de Fontbrégoua au Néolithique ancien (NA) et moyen (NM) d'après l'étude de Helmer (1979).	- 172 -
Tab. 26. État de conservation du collagène des restes humains et animaux de la Baume Fontbrégoua.....	- 176 -
Tab. 27. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, % C, % N et C/N du collagène des restes osseux humains et animaux de Fontbrégoua.....	- 178 -
Tab. 28. Moyenne, minimum, maximum et variation des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des restes humains par structure.....	- 179 -
Tab. 29. Exemples de moyennes des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du collagène osseux chez des consommateurs de ressources aquatiques mésolithiques et néolithiques en Europe (Bonsall <i>et al.</i> , 2004 ; Cook <i>et al.</i> , 2001).....	- 180 -
Tab. 30. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, % C, % N et C/N du collagène du reste osseux de l'homme du Rastel. -	186 -
Tab. 31. Nombre de restes et fréquences des différentes espèces animales présentes dans les couches VBQ du site de Pendimoun. Etude réalisée par L. Gourichon (Binder, 2003). -	188 -
Tab. 32. Nombre de restes et fréquences des espèces de faune terrestres au Néolithique ancien et au VBQ1. Etude de Rowley-Conwy (1997).....	- 191 -
Tab. 33. Nombre de restes et fréquences de poissons au Néolithique ancien et au VBQ sur le site des Arene Candide. Etude de Desse Berset et Desse (1999).	- 192 -
Tab. 34. Nombre d'espèces et fréquence en fonction du type de biotope pour les périodes cardiale et VBQ. Etude réalisée par C. Cade (1999).	- 193 -
Tab. 35. État de conservation du collagène des restes humains et animaux des Arene Candide.....	- 199 -
Tab. 36. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, % C, % N et C/N du collagène des restes osseux humains et animaux des Arene Candide.....	- 202 -
Tab. 37. Pourcentage du nombre de restes des différents taxons présents dans le secteur d'habitat et le secteur sépulcral. Etude réalisée par D. Loirat (2000).	- 212 -
Tab. 38 . État de conservation du collagène des restes humains et animaux du site de Montou (Analyses MPI-EVA et EPOC).....	- 215 -
Tab. 39. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, % C, % N et C/N du collagène des restes osseux humains et animaux de Montou (analyses MPI-EVA et EPOC).	- 219 -
Tab. 40. Synthèse des observations sur l'état sanitaire dentaire des individus des Plots. g : gauche ; d : droite. M : molaire ; P : prémolaire ; C : canine ; I : incisive.	- 224 -
Tab. 41. État de conservation du collagène des restes humains et animaux du site des Plots (analyses MPI-EVA et EPOC).....	- 226 -
Tab. 42. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, % C, % N et C/N du collagène des restes osseux animaux et de l'homme St1 des Plots (analyses MPI-EVA et EPOC).	- 228 -
Tab. 43. Espèces et nombre de faune terrestre et de la malacofaune du site du Crès. Etude de V. Forest (Loison et al., 2004).	- 233 -
Tab. 44. Type et nombre de restes végétaux de la fosse AMT 98 du site du Crès. Etude de L. Bouby (Loison et al., 2004).....	- 234 -

Tab. 45. État de conservation du collagène des restes humains et animaux du site du Crès (analyses MPI-EVA et EPOC).....	- 237 -
Tab. 46. Exemples de valeurs isotopiques du collagène osseux dans une population mésolithique d'Europe centrale consommant des ressources dulcicoles (Cook <i>et al.</i> , 2002).	- 245 -
Tab. 47. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, % C, % N et C/N du collagène des restes osseux humains et animaux du Crès (analyses MPI-EVA), ainsi que les types de sépultures 5 (<i>cf.</i> § a.3) dans lesquelles sont inhumés les individus.....	- 248 -
Tab. 48. Médianes, moyennes, minimum, maximum et variations des valeurs isotopiques du carbone et de l'azote (analyses MPI-EVA et EPOC) du collagène chez les femmes, les hommes et les individus de sexe indéterminés du site du Crès.....	- 249 -
Tab. 49. Médianes, moyennes, minimum, maximum et variations des valeurs isotopiques du carbone et de l'azote (analyses MPI-EVA et EPOC) du collagène chez adultes et les immatures du site du Crès.	- 253 -
Tab. 50. Détail des éléments mobiliers particuliers (éléments de coquilles et pièces lithiques) associés aux défunts sur le site du Crès (étude réalisée par Loison <i>et al.</i> , 2004).....	- 267 -
Tab. 51. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, % C, % N et C/N du collagène du reste osseux de l'enfant du site de Coste Rouge.	- 274 -
Tab. 52. État de conservation du collagène des restes humains et animaux de des phases anciennes du Néolithique.	- 279 -
Tab. 53. État de conservation du collagène des restes humains et animaux du Néolithique moyen, Montbolo et Chasséen (analyses MPI-EVA et EPOC).	- 279 -
Tab. 54. Moyenne des valeurs isotopiques des différentes espèces animales présentes sur les sites des périodes anciennes du Néolithique.	- 283 -
Tab. 55. Description statistique des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des populations des phases anciennes du Néolithique.....	- 286 -
Tab. 56. Moyenne, minimum, maximum et amplitude des valeurs isotopiques des différentes espèces animales présentes sur les sites du Montbolo et du Chasséen (analyses MPI-EVA et EPOC).	- 291 -
Tab. 57. Description statistique des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des populations du Néolithique moyen (analyses MPI-EVA et EPOC).....	- 294 -
Tab. 1. Résultats du test U de Mann-Whitney de comparaison des valeurs isotopiques des caprinés et des bovins entre chaque période. PAN : Phases Anciennes du Néolithique ; NM : Néolithique Moyen.....	- 304 -
Tab. 59. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des restes osseux humains et animaux étudiés dans l'ouest de la Méditerranée.....	- 309 -

Liste des annexes

Annexe 1. Protocole analytique et méthode d'extraction réalisés au laboratoire EPOC UMR 5805 de l'Université Bordeaux 1.	- 373 -
Annexe 2. Processus d'extraction de collagène réalisé au laboratoire de l'Institut Max-Planck d'Anthropologie Evolutive.....	- 376 -
Annexe 3. Résultats des analyses effectuées sur l'os dans le laboratoire EPOC	- 378 -
Annexe 4. Corrélations entre le % C et le % N des ossements ainsi que le % N et le % C excédentaire.....	- 378 -
Annexe 5. Stades d'usure dentaire définis par Smith (1984) pour chaque type de dent.....	- 379 -
Annexe 6. Caractères de la surface sacro-pelvienne iliaque et différents scores utilisés dans la détermination de l'âge au décès des adultes de la méthode Schmitt (2005). Brève description des caractères de cotation (Schmitt, 2005 pp 91-92).	- 379 -
Annexe 7. Estimation de l'âge au décès des adultes par la méthode Schmitt (2005).	- 380 -
Annexe 8. Résultats des standards utilisés au laboratoire EPOC.....	- 381 -
Annexe 9. Résultats des standards utilisés au laboratoire de l'Institut Max Planck (MPI-EVA)....	- 382 -
Annexe 10. Résultats des standards utilisés au laboratoire Iso-Analytical.	- 383 -
Annexe 11. Résultats des différences de proportions de carbone et d'azote, du rapport C/N, du rendement et des valeurs isotopiques du collagène entre les laboratoires de Bordeaux (Bx) et de Leipzig (Lp).....	- 384 -
Annexe 12. Vérification de la normalité : test de Shapiro Wilk entre les résultats des laboratoires pour chaque variable.	- 385 -
Annexe 13. Résultats du test U Mann-Whitney de comparaison entre les échantillons correctement dupliqués (B) et les mauvais dupliqués (M).....	- 385 -
Annexe 14. Corrélations entre l'écart des valeurs isotopiques et l'écart des valeurs de C/N entre les deux laboratoires.....	- 386 -
Annexe 15. Résultats des analyses effectuées sur une sélection d'échantillon dont le collagène fut extrait dans deux laboratoires et chaque collagène analysé par deux spectromètres de masse isotopique différents, au laboratoire EPOC et au laboratoire Iso-Analytical. Les échantillons en italiques sont ceux pour lesquels les répliqués d'analyses (collagène extrait et analysé à Bordeaux comparé au collagène extrait à Leipzig et analysé chez iso-Analytical) sont corrects.	- 386 -
Annexe 16. Corrélations entre les différences (en valeurs absolues) de valeurs isotopiques obtenues entre les spectromètres et les différences de % C, % N et le rendement d'extraction sur le collagène extrait à Bordeaux et celui extrait à Leipzig.	- 387 -
Annexe 17. Comparaison des valeurs isotopiques et des teneurs en C et en N du collagène selon les deux méthodes d'extraction.....	- 388 -
Annexe 18. Corrélations entre les différences (en valeurs absolues) de valeurs isotopiques obtenues, par chaque spectromètre, entre les méthodes d'extraction, et les différences de % C, % N et le rendement d'extraction.	- 390 -
Annexe 19. Comparaison des valeurs isotopiques et des teneurs en C et en N du collagène selon les deux équipements analytiques.	- 391 -
Annexe 20. L'estimation des critères biologiques est effectuée selon les différents anthropologues en charge des sites, excepté pour les classes d'âge des individus des Plots, du Crès et du Rastel. Pathologies, anomalies osseuses : 1 : arthrose, ostéophyte ; 2 : pathologie traumatique ; 3 : pathologie infectieuse ; 4 : <i>cribra</i> et lignes de Harris ; 5 : autre (<i>coxa valga</i> notamment). Pathologies, anomalies dentaires : 1 : tartre ; 2 : carie ; 3 : usure dentaire	

prononcée ; 4 : parodontose, perte dentaire <i>ante mortem</i> ; 5 : hypoplasie. Position du défunt : C : sur le côté ; E : en extension ; D : droit ; G : gauche ; D : sur le dos ; V : sur le ventre. Type de sépulture : FS : fosse sépulcrale simple ; PDPP(B) : fosse à petit diamètre peu profonde (avec bloc de parement) ; FSO(B) : fosse à ouverture oblongue (avec bloc de parement) ; GDP(P)(N)(B) : fosse à grand diamètre (peu) profonde (avec niche ou bloc de parement) ; SR : fosse de stockage.....	- 393 -
Annexe 21. Résultats de toutes les analyses effectuées sur le collagène dans les différents laboratoires : EPOC ; Iso-Analytical et l' Institut Max-Planck d'Anthropologie évolutive (MPI-EVA).....	- 395 -
Annexe 22. Données archéologiques et biologiques effectuées par Loison et collaborateurs (2004) sur le site du Crès.....	399
Annexe 23. Résultats des tests U de Mann-Whitney, entre les hommes, les femmes, les adultes non sexés et entre les adultes et les immatures du site du Crès (analyses MPI-EVA et EPOC).	- 402 -
Annexe 24. $\delta^{15}\text{N}$ et $\delta^{13}\text{C}$ moyenne, écart-type (à 1σ), médiane, minimum et maximum des individus adultes du site du Crès en fonction de l'estimation de l'âge au décès. Analyses MPI-EVA et EPOC.	- 403 -
Annexe 25. Résultats des tests U de Mann-Whitney de comparaison des données isotopiques (analyses MPI-EVA et EPOC) des individus en fonction des groupes d'âge sur le site du Crès.....	- 403 -
Annexe 26. Corrélations entre les valeurs isotopiques et l'âge au décès estimé des enfants du Crès. Analyses MPI-EVA et EPOC.	- 404 -
Annexe 27. Corrélations, probabilités exactes de Fisher entre les facteurs sexe et taille, et tests U de Mann-Whitney, entre les valeurs isotopiques (MPI-EVA et EPOC) et la stature, des hommes, des femmes et de l'ensemble des individus du site du Crès. P : petits ; M : moyens ; G : grands.....	- 404 -
Annexe 28. Résultats des tests U de Mann-Whitney, entre les groupes de structures dans lesquels les individus du Crès sont inhumés. Dom : domestique ; Fun : funéraire ; Disp : funéraire avec dispositif en pierre. Analyses MPI-EVA et EPOC.	- 406 -
Annexe 29. Résultats des comparaisons multiples des rangs moyens, des ANOVA de Kruskal-Wallis (H) et tests U de Mann-Whitney entre les différents types de structures (définis par Loison <i>et al.</i> , 2004) dans lesquels les individus du Crès sont inhumés. FS : fosse sépulcrale simple ; PDPP(B) : fosse à petit diamètre peu profonde (avec bloc de parement) ; FSO(B) : fosse à ouverture oblongue (avec bloc de parement) ; GDP(P)(N)(B) : fosse à grand diamètre (peu) profonde (avec niche ou bloc de parement) ; SR : fosse de stockage. Analyses MPI-EVA et EPOC.	- 407 -
Annexe 30. Résultats des tests U de Mann-Whitney entre les valeurs isotopiques des individus du Crès chez lesquels on observe différents types de pratiques funéraires : inhumation en espace vide (V) ou cilmaté (C), inhumation simple (S) ou pluriel (P), les secteurs d'inhumation (S2, S3, S4, S6), la position des défunts (E : en extension ; C : sur le côté) et la présence (O) ou l'absence (N) de mobilier funéraire. Analyses MPI-EVA et EPOC. ...	- 408 -
Annexe 31. Résultats des tests H de Kruskal-Wallis et des « p » associés aux comparaisons multiples des rangs moyens, entre les valeurs isotopiques de chaque taxons entre les sites des phases anciennes du Néolithique.	- 409 -
Annexe 32. Résultats des tests U de Mann-Whitney entre les valeurs isotopiques du collagène des chiens des sites du Néolithique moyen (analyses MPI-EVA et EPOC), et entre les valeurs isotopiques du collagène des chiens et des hommes des sites du Crès et de Montou (analyses MPI-EVA et EPOC).....	- 410 -
Annexe 33. Résultats des tests U de Mann-Whitney entre les valeurs isotopiques du collagène de chaque taxon des différents sites du Néolithique (analyses MPI-EVA).	- 411 -

Annexe 34. Résultats des tests U de Mann-Whitney, entre les hommes, les femmes, les adultes non sexés et les enfants, du site du Crès (analyses MPI-EVA)..... - 412 -

Annexe 35. Résultats des tests H de Kruskal-Wallis et des « p » associés aux comparaisons multiples des rangs moyens, entre les valeurs isotopiques des hommes et des animaux de différents régimes alimentaires (herbivores, omnivores et carnivores) aux phases anciennes du Néolithique et au Néolithique moyen (analyses MPI-EVA et EPOC)..... - 412 -

Annexe 36. Résultats des tests U de Mann-Whitney entre les valeurs isotopiques du collagène humain des différents sites du Néolithique. Analyse MPI-EVA et EPOC. - 414 -

Préambule

Afin de comprendre les modes de vie des populations du passé, il est indispensable d'appréhender les interactions multiples entre l'Homme et le milieu, tant d'un point de vue biologique que culturel. Ces interactions ont connu, à un moment de leur histoire, des bouleversements qui allaient déterminer l'avenir de nombreuses populations humaines. Etape considérée comme une phase de transition décisive, le Néolithique n'a eu de cesse d'occuper les recherches des préhistoriens et n'en finit pas de susciter des interrogations. Le phénomène marquant qui lui est lié, la « néolithisation », a profondément modifié les rapports sociaux de l'Homme et ses relations au milieu naturel, ces dernières se diversifiant intensément depuis environ 12000 BP. Parmi les changements qui se produisent à cette période, le passage d'un mode de subsistance dépendant de l'acquisition des ressources sauvages, chassées et collectées, à celui fondé sur les ressources domestiques (élevage et agriculture), a provoqué des modifications socio-économiques, culturelles et biologiques profondes : « *C'est la mutation des modes d'acquisition alimentaire qui constitue l'élément central et le critère déterminant de ce bouleversement complexe [...]* » (Leclerc et Tarrête, 1994b ; p. 774).

Subvenir aux besoins alimentaires, instinct vital autour duquel se tisse toujours une structure sociale en prise avec l'environnement, est un témoignage incontournable pour l'étude de ce lacs d'interactions. Counihan (1999) fait une synthèse appropriée de ce phénomène, justifiant l'intérêt que doit y porter l'anthropologie : « *Food is a many-splendored thing. Essential to biological survival, it takes on myriad meanings and roles in the ongoing constitution of society and culture. As humans construct their relationship to nature through their foodways, they simultaneously define themselves and their social world. Through producing, distributing, and consuming food, they act out some of their most important relationships to family, friends, the dead, and the gods. Food provides order to the world and expresses multiple meanings about the nature of reality. The social and cultural uses of food provide much insight into the human condition.* » (p. 23). L'anthropologie de l'alimentation, considérée comme une discipline à part entière à partir des années trente et quarante (Richards, 1932 ; Guthe et Mead, 1945), doit nécessairement prendre en compte des faits relevant autant d'aspects biologiques que socio-culturels (de Garine, 2001), composant ainsi une approche pluri-disciplinaire. En ce qui concerne les populations anciennes, plusieurs modes d'étude essaient d'appréhender les choix alimentaires et les facteurs déterministes en cause, avec pour objectif de privilégier une approche systémique. L'écologie, l'environnement culturel et l'organisation socio-économique, dont les motivations sont souvent difficiles à cerner, doivent faire l'objet d'une attention minutieuse.

La néolithisation, ensemble de processus complexes, commence en ce qui concerne l'Europe de l'ouest vers la fin du Mésolithique (VII^e millénaire av. J.-C.) et semble atteindre un épanouissement durable au Néolithique moyen (V^e millénaire av. J.-C.). Il est par conséquent, nécessaire d'appuyer l'étude de l'évolution des modes de subsistance des premières populations néolithiques sur l'ensemble de cette période. Néanmoins, comme le rappelle à juste titre Vernet (1991 ; p.7) « *La néolithisation est, du point de vue écologique et de toute façon, le processus, lent ou rapide, qui aboutit à la mainmise sur le milieu. Cette mainmise n'est bien sûr pas terminée avec la néolithisation* ».

C'est dans cette perspective que nous avons choisi d'engager un travail archéo-anthropologique relatif aux modes de subsistance, fondé sur l'analyse des isotopes stables du carbone et de l'azote du collagène osseux. Notre étude a pour objectif d'apporter de nouvelles informations sur l'alimentation de populations néolithiques du nord-ouest de la Méditerranée. L'approche choisie permet, d'une part, de prendre en compte des données individuelles sur l'alimentation protéinique et, d'autre part, de réaliser des comparaisons intra et interpopulationnelles. Ce travail s'articule autour de deux pôles : le premier vise à percevoir de possibles relations entre les facteurs archéologiques, biologiques et l'alimentation des populations étudiées, le second essaie d'appréhender l'évolution des choix de subsistance au cours du Néolithique.

Géographiquement, ce travail concerne plus spécifiquement le sud de la France et la Ligurie. Chronologiquement, il englobe une période qui débute à l'apparition des premiers processus de néolithisation et qui s'étend jusqu'au Néolithique moyen. Les problématiques abordées s'inscrivent, d'une part dans l'axe de recherche de la thématique « *Biologie et mode de vie de la population* », du Laboratoire d'Anthropologie des Populations du Passé (CNRS UMR 5199-PACEA, Université Bordeaux 1), et d'autre part dans l'axe d'étude de la thématique « *Transition Mésolithique-Néolithique* » du Département d'Évolution Humaine de l'Institut Max-Planck d'Anthropologie Évolutive (Leipzig, Allemagne). Ces recherches font l'objet de collaborations techniques et scientifiques supplémentaires. Elles s'insèrent en effet, dans une Action Collective de Recherche, dirigée par J. Vaquer (CNRS UMR 8555, Toulouse), intitulée « *Espaces et expressions funéraires au Néolithique moyen dans le monde pyrénéen et ses marges* », et elles sont menées en collaboration avec le laboratoire Environnements et Paléoenvironnements Océaniques (EPOC, CNRS UMR 5805), du Département de Géologie et d'Océanographie, de l'Université Bordeaux 1.

Dans un premier chapitre, nous présentons la problématique, accompagnée des contextes paléoécologiques et archéologiques tout en insistant sur l'importance des connaissances paléalimentaires pour ces périodes. Le deuxième chapitre aborde la méthodologie, les matériaux

étudiés et les techniques, mettant en évidence l'originalité d'une approche isotopique en vue de compléter nos connaissances des choix alimentaires individuels et collectifs. Ce chapitre propose également une réflexion générale d'ordre méthodologique et technique, développée dans le cadre des collaborations entre laboratoires. Les deux chapitres suivants, sont consacrés à l'étude isotopique des restes animaux et humains des sites archéologiques choisis, ainsi qu'à l'interaction entre les résultats obtenus et les facteurs biologiques et archéologiques. Enfin, le cinquième chapitre propose une analyse comparative s'intéressant aux paramètres géographiques et culturels. L'ensemble des données et des hypothèses retenues sont par la suite présentées dans une synthèse générale récapitulant, d'une part, les apports méthodologiques et, d'autre part, les informations nouvelles et complémentaires apportées dans le domaine de l'archéo-anthropologie. Enfin, des perspectives sont envisagées afin d'élargir la sphère de recherche dans diverses directions : géographique, chronologique et méthodologique.

* * *

Chapitre I - Contexte de l'étude environnementale et archéologique au Néolithique ancien et moyen dans le nord- ouest de la Méditerranée

A - Le Néolithique ancien et moyen : état actuel des connaissances des populations du nord-ouest de la Méditerranée

Nos connaissances sur les cultures et les modes de vie des populations néolithiques du nord-ouest de la Méditerranée reposent sur de nombreuses données issues des recherches archéologiques effectuées depuis environ un siècle. Bien évidemment, de nouvelles fouilles et de nouveaux sites sont régulièrement découverts, ce qui permet de les compléter. Malgré les lacunes dans certains domaines, nous pouvons actuellement reconstituer un environnement naturel et archéologique de ces époques qui semble assez pertinent. Ce chapitre propose d'exposer de façon générale l'ensemble des connaissances écologiques, sociales, économiques et culturelles sur les populations du Néolithique ancien et moyen, principalement dans le nord-ouest du bassin méditerranéen. Toutefois, nous sommes consciente que la présentation que nous proposons n'est pas exhaustive, en raison du grand nombre d'études qui ont été réalisées jusqu'à présent dans ce domaine.

Afin de pouvoir interpréter les études effectuées sur les sites archéologiques, il nous a paru important de présenter le contexte de la néolithisation, le cadre évolutif du milieu naturel (écologie, climat, ressources alimentaires disponibles) et de l'Homme dans ce milieu (habitats, cultures matérielles et pratiques funéraires, biologie et état sanitaire)

1 - Évolution du climat et de la végétation

Les études paléoclimatiques s'effectuent principalement à partir d'analyses polliniques de sédiments et de tourbe, en s'appuyant sur les relations actuelles entre climat et végétation. Mais également grâce à l'observation des variations des niveaux lacustres, l'analyse isotopique ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) des glaces (dans un cadre global), l'étude des charbons de bois et celle des phytolithes (Delhon *et al.*, 2003). Établies grâce aux données palynologiques, les séquences chronoclimatiques et environnementales de l'Holocène sont divisées en plusieurs périodes, dont l'une englobe essentiellement le Néolithique : l'Atlantique (8000-4700 BP, soit 6900-3450 av. J.-C.), qui correspond à un optimum climatique, pendant lequel les forêts tempérées caducifoliées connaissent une forte extension. A partir de 4700 BP et jusqu'en 2700 BP (3400-820 av. J.-C.), succède le Subboréal, où le climat est plus frais et plus sec qu'à la période précédente (Magny, 1995 ; Vernet, 2005).

En Méditerranée occidentale, les études paléobotaniques suggèrent qu'à l'aube du Néolithique les zones littorales étaient occupées par des pinèdes et l'essentiel du Midi de la France était couvert par la chênaie caducifoliée, tandis que les forêts des zones montagnardes, selon l'altitude, étaient constituées de chênaies accompagnées de nombreuses espèces arborescentes, de pins sylvestres et sapins (Vaquer, 1998a ; Thiébault, 2005). La végétation évolue au cours du Néolithique d'une part avec l'installation du climat méditerranéen et d'autre part avec l'impact de l'Homme sur son environnement (Jalut *et al.*, 1997 ; Pons et Quézel, 1998 ; Jalut *et al.*, 2000 ; Heinz *et al.*, 2004). La question du rôle relatif de ces facteurs sur l'environnement est à l'origine de plusieurs hypothèses :

- les études de Jalut (Jalut *et al.*, 1997 ; Jalut *et al.*, 2000 ; Jalut, 2005), en partie fondées sur les rapports de pollens de caducifoliés/sclérophylles, montrent que du sud de l'Espagne au sud de la France, l'installation du climat méditerranéen est progressive et latitudinale. Pour cet auteur, la partie occidentale du bassin méditerranéen voit l'arrivée d'un été sec et chaud, associé à des espèces végétales caractérisant le climat méditerranéen, vers 4500-4200 BP et plus précisément dans le Golfe du Lion vers 4300-4200 BP, c'est-à-dire bien après les premiers Néolithiques (Jalut *et al.*, 1997). Le climat méditerranéen, tel qu'on le connaît actuellement, n'est présent dans cette région qu'à partir de la fin du Néolithique, vers 3000 BP cal. (Terral et Mengäl, 1999 ; Jalut, 2005). De façon plus localisée, l'étude des charbons de bois sur les sites de l'Abeurador et Font-Juvéнал, indique également que l'influence de l'Homme sur l'environnement au Néolithique ancien et moyen (6500-4500 BP) est faible (Heinz et Thiébault, 1998). Pour ces auteurs, c'est au cours du Néolithique final (4500 BP) que la végétation reflète un réel impact anthropique.
- Au contraire, d'autres chercheurs mettent en avant l'importance des facteurs anthropiques dans la distribution des espèces végétales, dès le début du Néolithique (Pons et Quézel, 1998 ; Heinz *et al.*, 2004). Dans l'Hérault, l'analyse, en bordure d'étang, des rapports de pollens d'arbres et arbustes par rapport à l'ensemble des pollens, ainsi que la mise en évidence d'espèces végétales rudérales et messicoles, souligne l'impact d'une anthropisation précoce dès le début du Néolithique ancien (Puertas et Richard, 2003).

Nonobstant les divergences d'opinion, l'ensemble de ces études s'accorde sur l'observation d'une variation et d'une instabilité climatique au cours du Néolithique dans l'ouest méditerranéen (Vernet, 2005) : entre 9000 et 5000 BP le climat est peu contrasté et sub-humide ; à partir de 5000 BP, l'alternance de phases sèches et humides est observée, conduisant à un paysage végétal « en mosaïque » (Vernet, 2005). Les changements climatiques du début de l'Holocène semblent être des facteurs déclenchants dans l'évolution des modes de subsistance et facilitant notamment l'adoption de l'agriculture et de l'élevage (Price *et al.*, 1995).

2 - La néolithisation : essor en Europe occidentale et cadre spatio-temporel

a. Définition et caractérisation de la néolithisation

La « néolithisation » est un terme global définissant des processus de changements. Les facteurs qui vont transformer les modes de vie des populations humaines et animales peuvent être considérés à la fois d'un point de vue écologique, technique et socio-économique :

- Écologique : La néolithisation pourrait se définir soit comme l'acquisition de nouvelles interactions avec le biotope, différant sensiblement des pratiques mésolithiques, soit comme le prolongement ou le perfectionnement de pratiques déjà largement connues des populations mésolithiques (Vernet, 1991). Écologiquement, ce phénomène se traduit par l'emprise de l'Homme sur son milieu, qui évoluera bien au-delà des temps préhistoriques.
- Techno-économique : la poterie, les outils à vocation agricole et les techniques de domestication vont permettre une autre forme de stockage (à grande échelle) et l'accumulation alimentaire et matérielle, ainsi que le défrichement qui amplifie le système de mainmise sur le milieu (Guilaine, 1976 ; Price *et al.*, 1995 ; Gardes, 1996).
- Socio-culturel : la sédentarisation progressive, les poussées démographiques et la répartition différentielle des habitats impliquent une nouvelle hiérarchisation et une nouvelle structure sociale. C'est généralement l'expansion démographique qui est à l'origine de migrations des populations et des colonisations (Mazurié de Kéroualin, 2003).

Ce processus se diffuse de manière différente selon les régions, tout en dépendant d'une évolution locale selon l'environnement et les groupes humains. Par exemple, dans les zones insulaires, telles que les îles Corso-Sardes, où le processus de néolithisation possède ces spécificités puisque le substrat mésolithique lui-même diffère du continent. L'isolement, l'exiguïté du territoire et la disponibilité moindre des ressources stimulent différemment les processus de néolithisation dans ce type de milieu insulaire (Cesari et Magdeleine, 1999 ; Costa, 2004).

b. Voies et processus de néolithisation

Voies de néolithisation

Le foyer originel de la néolithisation se situe au Proche-Orient vers 10000 av. J.-C. C'est de cette région que provient la plupart des espèces animales et végétales domestiques de l'Europe. C'est également à partir de ce moment que se mettent en place de nouvelles structures

sociales et hiérarchiques. En Europe, la néolithisation se traduit principalement par deux grands courants : l'un par les Balkans, vers le nord, le courant danubien et l'autre vers le sud, le courant méditerranéen (Fig. 1).

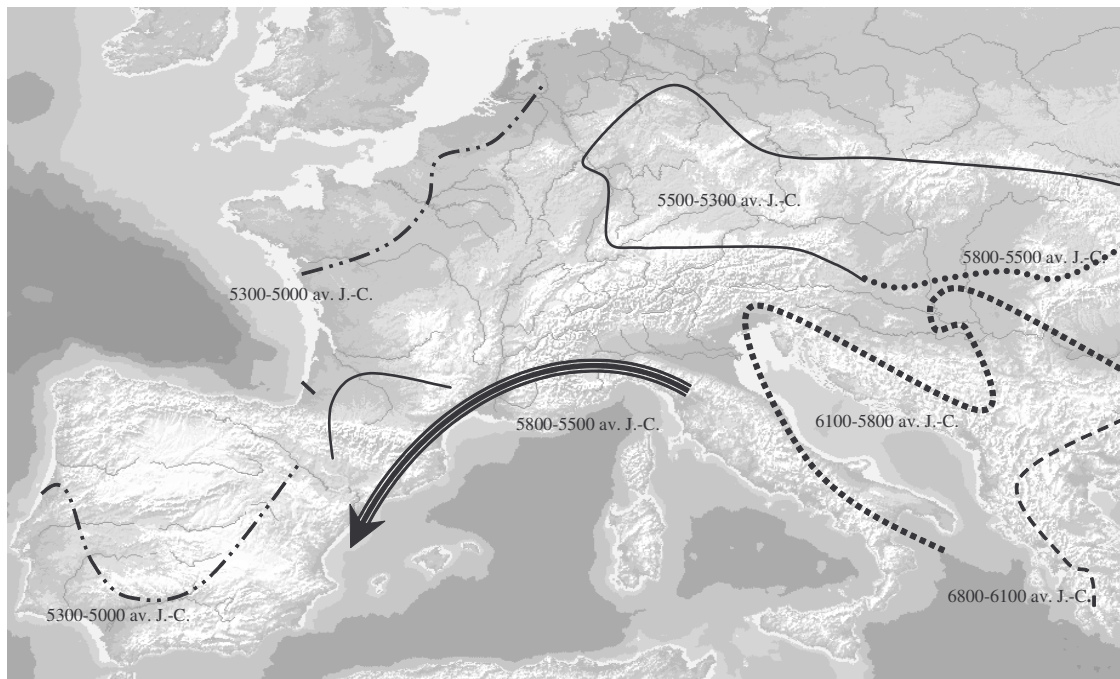


Fig. 1. Limites spatio-temporelles des étapes majeures de la première néolithisation européenne (d'après Mazurié de Kéroualin, 2003 ; p 160 ; infographie G. Le Bras-Goude). Flèche : espace géographique et culturel étudié.

Processus de néolithisation

Quels sont les processus et la vitesse de diffusion de la néolithisation ? Plusieurs hypothèses pour le bassin occidental de la Méditerranée ont été proposées (Binder et Courtin, 1987 ; Guilaine, 1997 ; 2003) :

- au début des années quarante, Childe propose une théorie diffusionniste, dans laquelle l'apparition des techniques agropastorales et des nouvelles relations socio-économiques s'effectuent au Proche-Orient, puis se transmettent aux régions limitrophes. Cette théorie qui faisait état d'une néolithisation rapide de l'Occident méditerranéen a été depuis revue notamment grâce à la multiplication des datations radiométriques qui d'une part, vieillissent l'apparition du Néolithique dans cette région et d'autre part, en diminuent la vitesse de propagation (Guilaine, 1997) ;
- une théorie autochtoniste a été proposée vers les années soixante, dans laquelle la néolithisation aurait été réalisée par des communautés mésolithiques autochtones

(Guilaine, 1976). Les hypothèses qui conduisent à proposer des modèles d'invention indépendante de la poterie et de la domestication sont pour beaucoup de chercheurs aujourd'hui obsolètes (Zilhao, 1993 ; Barnett, 2000) ;

- L'idée d'une colonisation par des groupes déjà néolithisés en provenance de l'est est par la suite évoquée, en particulier par le modèle de la « vague d'avancée » proposé par Ammerman et Cavalli Sforza (1984), selon lequel une migration de colons à partir de l'Iraq et de la Turquie aurait progressé vers l'Ouest, provoquant l'expansion démographique et le développement d'une économie fondée sur l'agriculture et l'élevage (Guilaine, 1997).
- L'hypothèse d'une colonisation saltatoire (par cabotage) est également pertinente en ce qui concerne les régions du sud de la France telles que le Languedoc et la Provence, en particulier par l'étude de Pendimoun (Alpes-Maritimes) et de Portiragnes (Hérault) (Cahen et Otte, 1990 ; Vigne et Helmer, 1999; Guilaine, 2003). Le schéma de la colonisation s'explique par l'arrivée d'une nouvelle population dont les rapports ouvertement conflictuels ou non avec les premiers occupants se seraient en tout cas terminés par la disparition ou l'assimilation des mésolithiques (Roussot-Larroque, 1990). Cependant, il est vrai que les premiers processus d'interaction nous échappent car la majeure partie des sites côtiers est actuellement immergée (Binder, 2000). Parallèlement à ces hypothèses s'ajoutent celles d'une néolithisation progressive par des processus d'acculturation qui se développent, étayées par les témoignages archéologiques d'une « continuité » matérielle entre les mésolithiques et les néolithiques (Guilaine, 1997). Le modèle de diffusion semble pour certains auteurs assez pertinent (Vigne et Helmer, 1999) et montrerait le comportement compétitif des sociétés humaines ainsi qu'un changement progressif des modes d'acquisition des ressources. Dans ce schéma, la diffusion est progressive, commençant par la poterie et les caprinés, puis évolue au fur et à mesure vers les sociétés agropastorales du Néolithique moyen.

Dans la zone géographique qui nous intéresse, **c'est le modèle dual** (Bernabeu *et al.*, 1993 ; Guilaine, 1997 ; Bernabeu Auban et Cabanilles, 1999 ; Guilaine, 2003) qui semble le plus pertinent ; celui-ci implique une colonisation le long des côtes et un phénomène d'acculturation qui semble toucher principalement les zones de l'arrière pays méditerranéen, dans lesquels la présence de traits culturels mésolithiques et néolithiques sont concomitants (van Willigen, 2003).

Vitesse de diffusion du Néolithique

Les premières datations radiométriques ont été un tremplin au développement des recherches sur la vitesse de diffusion de la néolithisation. L'une des théories développées à partir

de ces dernières est celle de la « vague d'avancée », proposée par Ammerman et Cavalli-Sforza (1984), dans laquelle une lente migration de populations proche-orientales aurait entraîné une expansion démographique et l'établissement d'un nouveau pool génétique. La vitesse de diffusion (1 km/an) définie par ce modèle est aujourd'hui remise en cause à la fois par les archéologues et par les généticiens (Armelagos et Harper, 2005), mais elle lance le débat sur le rôle et l'impact respectif des facteurs humains et des facteurs techniques dans la diffusion des processus de néolithisation (Guilaine, 1997 ; Mazurié de Kéroualin, 2003). La vitesse de diffusion a également été évaluée par rapport à la présence de caprinés domestiques sur les sites archéologiques le long de la Méditerranée (Vigne, 2000). Issue de nombreuses recherches archéologiques, l'étude de Vigne (2000) montre que cette diffusion est régulière dans les zones égéennes et de l'Italie orientale, traduisant une colonisation lente, mais en revanche cette diffusion irrégulière en Méditerranée occidentale, témoignant de processus de diffusion quelque peu différents (*ibid.*). Cette arythmie a d'ailleurs été soulignée par les travaux de Guilaine (2003), qui proposent le schéma d'une **propagation rapide par voie maritime le long des côtes de l'ouest de la Méditerranée et une propagation lente à l'intérieur des terres dans certaines régions où l'environnement est distinct.**

Importance du substrat mésolithique écologique et culturel

Il est indéniable que le milieu a joué un rôle de filtre vis à vis du phénomène de la néolithisation, en n'attirant pas, voire en repoussant les agriculteurs-éleveurs ou, au contraire, en favorisant la permanence de la chasse et la cueillette (Cahen et Otte, 1990). C'est dans cette logique de réflexion que Philibert (1991) met en avant les substrats mésolithiques de l'Europe de l'ouest comme condition de la néolithisation, tout comme Vaquer (1998), qui souligne que le problème de la néolithisation de la France s'articule autour de plusieurs faits, dont celui des substrats mésolithiques. En effet, la néolithisation ne fut pas simultanée dans les différentes micro-régions : la Bretagne ou le nord du Royaume-Uni, les régions de l'extrême ouest de l'Europe, semblent n'être influencées qu'assez tardivement par le mode de vie agricole et villageois, même si celles-ci étaient entourées par des zones déjà néolithisées, laissant supposer que des filtres ou barrières géomorphologiques, voire écologiques, ont joué un rôle. Pour la côte méditerranéenne (France et Espagne), la vie paysanne se serait mise en place avec un certain retard dû notamment à la position des îles qui ont pu, là aussi, jouer un rôle de filtre (Corse et Sardaigne) en refusant pendant un certain temps les céréales et les grands animaux domestiques tout en acceptant les moutons et la poterie (Phillips, 1990).

Le processus complexe de néolithisation ne peut être séparé du contexte écologique et humain dans lequel il s'opère (Guilaine, 2003). Les transformations économiques peuvent être les conséquences d'évolutions idéologiques et sociales, réalisées de façon non simultanées dans toute l'Europe (Zvelebil et Lillie, 2000), et le substrat mésolithique, l'écologie du milieu et la configuration géographique sont des facteurs déterminants dans ces processus : « *Il n'y a pas eu de diffusion standard d'une culture unique née au Proche-Orient, mais la progression vers l'Ouest a donné lieu à des recompositions culturelles fréquentes* » (Guilaine, 2003 ; p. 131).

3 - Les populations et leur mode de vie

a. Les différentes cultures

Au VI^e millénaire av. J.-C. apparaissent les premiers témoignages de la néolithisation dans le Sud de la France, et l'interaction avec les groupes mésolithiques est mal connue (Binder, 2000). Le Néolithique ancien s'étend de 5800 à 4500 BC, il est défini dans les zones côtières de la Méditerranée occidentale par les cultures *Impressa* et Cardiale. La culture *Impressa* correspond aux premières phases de néolithisation en Ligurie (6000 BC cal.), en Provence (5750-5500 BC cal.) et en Languedoc (vers 5800 BC cal. ; Manen, 2000), en Corse et en Sardaigne (Maggi et Chella, 1999 ; Tanda, 1999 ; Binder, 2000). En zone liguro-provençale, la culture cardiale est présente de 5400 à 4900 BC cal. Lui succède, la culture des « Vases à Bouche Carrée » (VBQ) : première phase entre 4950-4600 BC cal. et deuxième phase entre 4600-4300 BC cal. Dans les régions languedocienne et pyrénéenne, les phases anciennes du Néolithique sont caractérisées par le Cardial franco-ibérique de 5400/5300 BC cal. à 4800 BC cal. (Guilaine, 2003 ; van Willigen, 2003 ; 2004) et l'Épicardial, qui se situe vers 5500/5400-4600 BC cal. (Guilaine, 2003 ; van Willigen, 2003 ; 2004).

Au cours des phases suivantes du Néolithique, une homogénéisation des cultures est observée, définie dans le Midi de la France par le Chasséen et une culture centrée sur la Catalogne : le Montbolo, dans les Pyrénées. Le Montbolo (site éponyme : la Balma de Montbolo en Vallespir, France) s'étend dans les Pyrénées méditerranéennes faisant la transition entre le Néolithique ancien et moyen entre 4300 et 3500 BC (Guilaine et Roudil, 1976). Celui-ci possède des caractéristiques propres (Treinen-Claustre, 1991) : il semble avoir un certain « retard » concernant le développement de l'agriculture par rapport à l'horizon Cardial, mais l'élevage est très présent (boeuf, mouton, porc et chèvre). Le Chasséen (site éponyme : Chassey-le-Camp, Saône-et-Loire, France) est le terme générique attribué au Néolithique moyen en France. Le Chasséen méridional est localisé dans le Sud, des Pyrénées ariégeoises jusqu'aux Alpes. En Languedoc et dans les Pyrénées, le Chasséen méridional se développe entre 4500-3500 BC cal.,

présentant des affinités avec le groupe de Montbolo. Les phases du Pré-chasséen et du Chasséen ancien, chronologiquement réparties entre 4500-4000 BC cal., sont caractérisées par un ensemble de traits (structures, outillage, gestion économique) qui diffèrent d'une région à l'autre ; cette distinction est visible notamment en Languedoc occidental de part et d'autre de la zone géographique du seuil de Naurouze (Vaquer, 1991). Le Chasséen méridional comporte plusieurs faciès : classique, récent et final, qui s'étendent sur une période allant de 4000 à 3500 BC cal. Ce Chasséen est personnalisé par des faciès régionaux, en raison de l'appropriation et du contrôle du territoire par des communautés qui s'accroissent (*ibid.*).

b. Habitat et mobilité

b.1 Habiter

L'évolution de l'implantation des sites d'habitat est, avant la néolithisation, principalement liée au climat et au potentiel économique du milieu.

A partir du Néolithique, un mode de vie plus sédentaire se met progressivement en place, de manière plus ou moins rapide selon des choix, qui seraient plus d'ordre socio-culturel qu'économique (Camps, 1998). Les premières populations néolithiques semblent être « semi-nomades ». Les sites d'habitat découverts jusqu'alors sont souvent en grotte ou abri (Corse, Italie, Espagne et France). Il existe également pour cette période des habitats en plein air (La Draga, Banyoles, Catalogne ; La Marmotta, Latium) (Bosch *et al.*, 1999 ; Fugazolla-Delpino et Pessina, 1999) ; peu de ces derniers ont été découverts dans le sud de la France à ce jour¹ (Courtin, 2000). Ce constat se fonde sur les données archéologiques actuelles, mais la remontée du niveau de la mer ayant enfoui probablement de nombreux sites, les données et la compréhension de ces derniers à cette période sont tronquées. De plus, les sites de plein air semblent être plus sujets aux problèmes de taphonomie (érosion, implantation de nouveaux sites) et par conséquent ils contiennent moins de vestiges matériels (Barnett, 2000). Certains auteurs ont avancé le fait que les sites de plein air du Néolithique ancien se seraient implantés préférentiellement sur les terres agricoles cultivables et les sites de grotte seraient ceux dont les terres adjacentes sont plus pauvres (Mills, 1987). L'hypothèse d'un rôle de complémentarité entre les grottes et les sites de plein air est souvent évoquée (Brochier, 1981 ; Mills, 1987 ; Binder, 1991 ; Sénépart, 1998 ; 2000). Cette dernière propose un modèle où des sites à caractères spécialisés, à l'intérieur d'un territoire (telles que la grotte Lombard et la Baume Fontbrégoua), seraient organisés autour de sites principaux, permanents, majoritairement sédentaires (dont les

¹ Tels que Leucate Corrége à 6m en dessous du niveau de la mer, Peiro Signado (Portiragnes, Hérault, France), le Baratin à Courthézon et les Petites Bâties à Lamotte-du-Rhône (Vaucluse, France) (Courtin, 2000).

indices sont faibles) ; ce modèle semble de plus en plus pertinent au fur et à mesure de l'avancée des recherches (Sénépart, 1998), mais le rôle de complémentarité n'est pas encore bien cerné. Il ne semble pas exister de grand village comme au Néolithique moyen, mais cette observation est peut-être due aux lacunes des fouilles archéologiques. Les structures d'habitat de la période cardiale sont très peu connues (Sénépart, 2000), toutefois, quelques sites, tels que le Baratin (Courthézon, Vaucluse), les Petites Bâties (Lamotte-du-Rhône, Vaucluse) et les sites lacustres de Bañoles (Catalogne) et La Marmotta (Lac de Bracciano, Rome) ont fourni des informations relatives à l'organisation spatiale et architecturale de ce que pouvaient être les établissements de plein air. Les structures mises au jour sur les sites du sud de la France sont celles de plans d'habitats et de foyers liés à des activités spécifiques (Sénépart, 2000 ; Binder et Sénépart, 2004 ; Binder, 2005b). De manière générale, les sites d'habitat sont le plus souvent de faibles dimensions et les abris tendent à devenir au cours du temps exclusivement des bergeries. Cette observation conforterait par ailleurs la progression de l'élevage dans l'économie (Guilaine, 1994). En Italie et en Espagne, les conditions de conservation exceptionnelles de villages du Néolithique ancien, liées à leur submersion, ont permis d'obtenir de plus amples informations sur les types de structures, particulièrement en matériaux périssables. Les fouilles de la Marmotta, site actuellement sous les eaux du lac de Bracciano (Italie), ont révélées un habitat étendu caractérisé notamment par de nombreux aménagements en bois (pieux, planchers) (Fugazolla-Delpino et Pessina, 1999). Ce type d'aménagement est également présent sur le site de La Draga, près de l'étang de Banyoles (Espagne), dans lequel la découverte des plates-formes dallées associées témoignent de la présence de structures de stockage (Bosch *et al.*, 1999).

Pour le Néolithique moyen Chasséen, les découvertes archéologiques ont permis la mise au jour de nombreux sites d'habitat. Ces sites sont diversifiés : des agglomérations importantes, en zones palustres ou déprimées, ou bien sur des buttes (Vaquer, 1990). De nombreux sites possèdent des structures défensives (Vaquer, 1991). Dans la région languedocienne, les structures d'habitat des sites de plein air ont une organisation relativement homogène, mais certains (*e.g.* Villeneuve-Tolosane, Haute-Garonne) se distinguent par la présence de grands aménagements de galets chauffés dont la fonction est probablement liée aux ressources alimentaires (*ibid.*). L'occupation des grottes est aussi attestée mais elle représente une faible partie des sites mis au jour (*ibid.*). Le nombre assez élevé des villages fait penser que la démographie a augmenté (Sénépart, 1998). Il existe à cette période probablement une continuité dans la complémentarité des sites en cavité et en plein air dans le sud de la France, les premiers étant consacrés principalement aux troupeaux et les seconds plus orientés vers les activités agricoles (Brochier, 1981). Cette complémentarité se décèle à travers les données archéozoologiques puisque l'on retrouve beaucoup de petits ruminants liés à un pastoralisme spécialisé dans les grottes qui complètent probablement les ressources issues de l'élevage du bœuf (Arbogast *et al.*, 1991 ; Geddès, 1985 ; Helmer, 1991). La sédentarisation semble s'ancrer dans la vie quotidienne des

populations du Néolithique moyen, néanmoins pour certains auteurs, il est possible que le Chasséen ne soit pas une période où les individus sont complètement sédentaires ; ces derniers pouvant effectuer des migrations à l'intérieur d'un territoire donné (Beeching *et al.*, 2000). Pour Guilaine (1976), s'il est difficile de connaître ou reconnaître l'ampleur de la sédentarisation, ce sont semble-t-il, les structures architecturales et le degré d'urbanisation d'un gisement qui sont les plus à même d'en évaluer le phénomène.

b.2 Se déplacer

L'usage de la navigation est attesté depuis le Mésolithique, par le peuplement des îles tyrrhéniennes notamment, et par les restes de faunes marines pêchées au large. Les hypothèses de la colonisation insulaire tyrrhénienne et du Midi de la France, ainsi que la présence de l'obsidienne liparote (réseau d'échange direct par haute mer ou par cabotage) sur le site languedocien de Peiro Signado (Guilaine et Vaquer, 1994) mettent en avant la maîtrise de la navigation également par les populations néolithiques (Freises et Montjardin, 1982 ; Camps, 1998). D'une manière plus anecdotique, l'importance de la navigation a été mise en évidence par la découverte d'une maquette de barque en céramique (période du Néolithique ancien dans le village de la Marmotta, Rome) (Fugazolla-Delpino et Pessina, 1999). Par ailleurs, l'expédition *Monoxylon II*², réalisée par une équipe de scientifiques tchèques, avait pour but de montrer que la distance entre la Sicile et Peiro Signado (Portiragnes, Hérault) a pu être effectuée par des moyens de navigation simples, et dans ce cas précis avec un bateau réalisé dans un tronc d'arbre monoxyle.

c. Économie matérielle

L'économie matérielle évolue au cours du Néolithique parallèlement à l'évolution de l'économie de subsistance, et ce de façon marquante principalement entre le Néolithique ancien et moyen. Il semble, en effet, que des techniques agricoles, associées à un outillage spécialisé, se développent plus particulièrement lors de cette période de transition (Vaquer, 1986 ; Mills, 1987 ; Guilaine, 1991).

c.1 L'industrie lithique

Selon l'origine de la matière première lithique, il est possible de cerner les réseaux d'échanges potentiels et leur progression au cours de ces périodes (*e.g.* les objets de parure). Au Cardial, le silex blond est très largement exploité et diffusé, servant à la fabrication de lames

² <http://www.monoxylon.cz> ; http://www.exrea.net/pdf/eXrea-net_REA_Monoxylon_II_ENG.pdf

larges brutes ou de lames retouchées (*e.g.* armatures de faucilles, perçoirs, burins ; Fig. 2) (Barnett, 2000 ; Binder et Sénépart, 2004). Comme son nom l'indique, le Néolithique est caractérisé, entre autres, par l'utilisation d'une nouvelle production lithique : la pierre polie à l'aide d'un polissoir, utilisée dans la fabrication de haches, d'herminettes et d'objets de parure. Dans la région provençale, cette production peut être réalisée à partir de roches vertes alpines (Sénépart, 2004 ; Binder, 2005b).



Fig. 2. Lames, éléments de faucille et armatures de flèches du site de Fontbrégoua (cliché J. Courtin dans Courtin, 2000)

Au Chasséen, les productions lithiques diffèrent par la nature des matériaux utilisés, de la typologie et de leur fréquence sur les sites (Vaquer, 1991). Le silex blond bédoulien du Vaucluse est un matériau courant, également dans les productions lithiques du Montbolo (Guilaine, 1974) ; une grande partie des productions est de type lamellaire (Vaquer, 1991). Le reste de l'outillage se compose généralement de burins, grattoirs, racloirs et armatures de flèches ainsi que des lamelles retouchées ; les outils polis, haches et ciseaux, sont peu nombreux (Vaquer, 1991).

Les éléments de mouture : témoignage de l'alimentation végétale

La présence de meules dormantes et molettes sur différents sites du Néolithique ancien, même en faible quantité, atteste l'existence d'activités agricoles³. Ce type de matériel se trouve en quantité un peu plus élevée au Néolithique moyen, témoignant d'une fixation plus importante sur un territoire, et probablement à une moindre mobilité des campements (Guilaine, 1976). La sédentarisation s'ancre ainsi de plus en plus dans le mode de vie des néolithiques. Toutefois, la présence d'éléments de meunerie assez fréquents dans les dispositifs sépulcraux au Néolithique moyen (*e.g.* sur le site du Crès, Béziers, Hérault) remet quelque peu en question sa fonction uniquement agricole et par extension son rôle dans le témoignage de l'expansion des activités agricoles et sa représentativité symbolique (Beeching *et al.*, 2000).

³ Ces meules pouvaient également servir à moudre les minéraux (Camps, 1998), tel que l'ocre souvent attesté dans le cadre sépulcral ou des colorants plus clairs utilisés dans les décors de poteries (Sénépart, 2004).

c.2 La poterie

La poterie symbolise l'évolution matérielle marquante qui distingue dans la plupart des cas le Mésolithique du Néolithique. La poterie en céramique dite « imprimée » domine les régions méditerranéennes de la Ligurie à l'Andalousie au cours du Néolithique ancien. Dans ces régions, les céramiques imprimées sont issues de l'évolution des céramiques d'Italie du Sud-Est. Généralement le type *Impressa* est présent en Ligurie et le type Cardial est présent de la Provence jusqu'à la façade Atlantique du Portugal, dès 5700 BC (Courtin *et al.*, 1985 ; Guilaine, 2003). Des éléments *Impressa* sont cependant également attestés dans le sud de la France comme à Peiro Signado (Barnett, 2000). Le décor de la poterie cardiale varie en fonction de la taille et de la nature des récipients (Binder et Sénépart, 2004) et évolue au cours de cette période : décor imprimé au cardium puis décor composé de cannelures, sillons, incisions et coups de poinçons (van Willigen, 2004 d'après les recherches de Guilaine à la grotte Gazel ; Binder, 2005b).

Au Chasséen ancien, la plupart des céramiques sont des vases globuleux, dont le moyen de préhension est généralement une anse en ruban (Vaquer, 1991). Les similitudes de cette production avec celle du groupe de Montbolo sont nombreuses (Treinen-Claustre, 1991). En effet, les poteries du Montbolo sont généralement de formes simples, hémisphériques, globuleuses, lisses, souvent sans décor et, lorsqu'il est présent, ce décor peut être gravé ou en sillon (Guilaine, 1974 ; Claustre et Ponsich, 2000). Les formes des productions céramiques se développent au Chasséen classique : coupes, écuelles carénées et vases à col notamment, utilisées pour la cuisson des aliments, qui resteront présentes jusqu'à la fin du Chasséen (Vaquer, 1991).

c.3 L'outillage osseux

L'industrie sur os est rare au Cardial (Binder, 2005b). Poinçons, outils pour la fabrication de poterie (lissoir), la cuisine (cuillère), la chasse (sagaie) ainsi que les objets de parure forment l'ensemble du matériel utilisé à cette période (Sénépart, 2004). Au cours du Néolithique, les espèces animales domestiques constituent, de plus en plus, le principal support de l'industrie osseuse ; les espèces sauvages restent cependant privilégiées dans la confection des objets de parure (Sénépart, 1993).

4 - Structure sociale, pratiques funéraires et données biologiques

a. Structure sociale

La production des ressources alimentaires produites, leur stockage et leur gestion, permettent une certaine pérennité de la quantité de ressources disponibles. Les relations susceptibles d'exister entre la gestion de ces ressources et l'évolution des structures sociales ne sont pas toujours perceptibles au niveau archéologique. Néanmoins, les réflexions entre l'aspect symbolique de ces ressources, le contexte social et les vestiges archéologiques ainsi que la comparaison avec des études ethnographiques apportent des hypothèses à exploiter. En effet, au début du Néolithique, la hiérarchie peut s'affirmer grâce au « pouvoir de gestion des matières premières vivantes » et au Néolithique moyen dans la diversification des modes d'inhumation (Mazurié de Kéroualin, 2003). Les différences alimentaires sont susceptibles de témoigner de facteurs sociaux et particulièrement de distinctions possibles entre les sexes (Lidén, 1995b ; Bonsall *et al.*, 1997). Milner et collaborateurs (2003) ainsi que Richards (2003) suggèrent que de nouveaux tabous alimentaires pourraient être une explication aux changements de mode de subsistance dès le début du Néolithique, particulièrement en ce qui concerne les ressources marines (Thomas, 2003). Pour Milner et collaborateurs (2003), ces tabous seraient plus imprégnés chez les individus de haute condition sociale que chez les indigents. Précisons par ailleurs, que l'acquisition et le partage des ressources alimentaires peuvent également être considérés comme deux choses différentes. L'étude de Hawkes (2001) montre, par exemple, que l'acquisition de ressources carnées chassées, est accessible autant par les chasseurs eux-mêmes que par le reste de la communauté, qui s'alimente sur les carcasses. L'important ici pour le chasseur n'est pas l'acquisition de la viande mais la réputation de ses faits et gestes liés à son activité cynégétique.

b. Les pratiques funéraires

Les modes d'inhumation ont évolué au cours du Néolithique probablement en relation avec différents facteurs d'ordres économiques et sociaux (Claustre, 1998 ; Mazurié de Kéroualin, 2003). Les pratiques funéraires au Cardial sont relativement homogènes⁴ (voir aussi Duday et Guilaine, 1975) sur un espace géographique étendu (de l'est à l'ouest du Midi de la France) et il est surprenant que l'on connaisse à l'heure actuelle aussi peu de sépultures de cette période, malgré sa durée et son étendue géographique (Bouville, 1993). Au Néolithique ancien, les

⁴ Cette remarque est issue entre autres des observations effectuées au long de l'étude de la documentation des sites archéologiques choisis dans ce travail. Néanmoins, certains chercheurs voient au contraire au Néolithique ancien, des pratiques funéraires peu codifiées et marginales (Chambon, 2005). L'absence d'un travail exhaustif sur certaines fouilles anciennes et le manque de datation sur les squelettes empêchent très certainement la lisibilité sur cette question.

inhumations sont primaires et individuelles, en fosse ou cuvette, avec ou sans parement de pierres. Les individus sont inhumés sur le côté, en position repliée ou fortement repliée (Duday et Guilaine, 1975) et avec peu de matériel associé (Bouville, 1993 ; Sénépart, 2004). Jusqu'à présent, ces sépultures ont été découvertes dans des sites de grotte, généralement dans les couches d'habitats. Cette proximité entre morts et vivants semble, tout comme la présence ponctuelle de sédiment exogène, être une persistance mésolithique (Coste *et al.*, 1987).

Au Néolithique moyen, les pratiques funéraires se diversifient au niveau des lieux, des structures d'inhumation tout comme des modes de dépôt. De nombreuses recherches mettent en évidence, d'une part la grande variabilité des modes d'inhumation et d'autre part le manque de distinction claire entre les lieux d'habitat et les lieux sépulcraux (Vaquer, 1986 ; 1990 ; 1998 ; Vaquer *et al.*, 2001 ; Vignaud, 1998 ; Tchérémissinoff, 2003 ; Vaquer *et al.*, sous presse). Les inhumations au Chasséen peuvent être en fosses à vocation strictement funéraire ou bien en fosses domestiques (fosses silos) réemployées à des fins funéraires (Les Plots, Aude ; Le Crès, Hérault) (Boujot *et al.*, 1991). Les inhumations en grotte sont également observées au Montbolo (Montou et Belest, Pyrénées-Orientales). On voit également à cette période l'émergence d'ensembles « proto-mégalithiques » (Coste Rouge et Le Crès, Hérault) (Vaquer *et al.*, sous presse), des tombes en coffre dans des tertres (nécropole du Camp del Ginèbre, Caramany, Pyrénées-Orientales) (Vignaud, 1998), l'utilisation de dispositifs d'enceinte pour les inhumations au Chasséen classique et récent (*e.g.* sites de Villeneuve-Tolosane et Cugnaux, Aude) ou bien encore la crémation (*ibid.*) (Camp del Ginèbre, Pyrénées-Orientales). Les inhumations sont principalement primaires et individuelles mais peuvent être multiples (Leclerc et Tarrête, 1994a) et dans certains cas secondaires. La position du défunt est également variable, cependant la position fléchie reste la plus courante (Boujot *et al.*, 1991 ; Tchérémissinoff *et al.*, 2005). La variabilité des pratiques funéraires observées à cette période, et plus particulièrement lorsqu'elle est avérée sur un même site archéologique (*e.g.* Caramany ou Le Crès) peut évoquer une hiérarchisation sociale (Claustre, 1998 ; Zammit, 1998 ; Vaquer, 1999), mais également être liée aux statuts économiques particuliers des groupes (Zammit, 1998), comme par exemple la présence de sépultures en silo pour les agriculteurs et de sépultures en grotte ou en coffre pour les éleveurs (Vaquer, 1998b).

Des chiens et des hommes

Le contexte sépulcral chasséen est également doté d'une caractéristique : la présence récurrente d'inhumations d'animaux et plus particulièrement de chiens (Fig. 3), associés ou non au défunt (Vaquer, 1998b ; Méniel *et al.*, 2005). Le statut de ces dépôts n'est pas clairement établi (offrande, sépulture), tout comme celui de l'animal lui-même (utilitaire et/ou compagnon), mais sa présence semble faire partie intégrante des pratiques funéraires (*ibid.*).

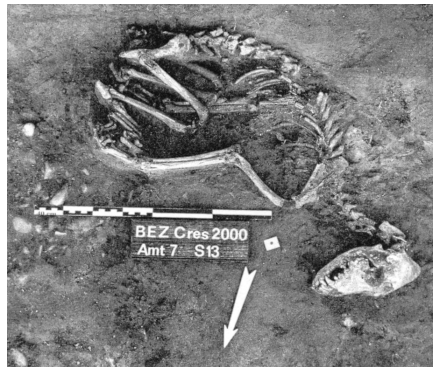


Fig. 3. Chien en contexte sépulcral sur le site du Crès (cliché G. Loison).

c. Biologie et état sanitaire

La néolithisation est également une période de changements morphologiques et métriques des populations humaines. Pour beaucoup d'auteurs (Meiklejohn et Zvelebil, 1991 ; Larsen, 1997 ; 2003 ; 2006), les nouveaux modes de vie ont largement influencé ces évolutions, de même que l'émergence et l'augmentation en fréquence de certaines pathologies (Armelagos et Harper, 2005).

c.1 Evolution biométrique de populations humaines

La taille et la masse corporelle des populations humaines ont évolué au cours du temps, notamment par le fait de pressions environnementales. Dans le sud de la France et en Ligurie le nombre d'individus, pour lesquels la taille a été étudiée, est faible. Quelques sujets masculins du Néolithique moyen en Ligurie indiquent une taille allant de 151,5 cm à 170,8 cm (Riquet, 1967). Les données sont pour le moment insuffisantes (peu de sujets présents) pour mettre en évidence une réelle évolution de la taille, notamment entre le Néolithique ancien et le Néolithique moyen. Néanmoins, il ne faut pas négliger le fait que l'alimentation joue un rôle important dans la maturation et le potentiel de croissance (Susanne, 1993). Par conséquent des modifications de stature au cours du Néolithique dans cette région sont possibles. L'alimentation pourrait également être un argument en faveur des modifications de la robustesse. L'étude de Y'Edynak et Fleish (1983) sur la transition Mésolithique-Néolithique dans la région des Balkans propose plusieurs hypothèses sur la gracilisation des individus : le changement de mode de subsistance, de la prédation à la production, et les multiples changements des modes de préparation des aliments. Ces modifications entraînent un ramollissement de la nourriture et ainsi moins de stress au niveau de la mastication, dont résulteraient la diminution de la taille des dents postérieures et la gracilisation de la mâchoire. Une observation similaire a été faite sur le site des Arene Candide

(Ligurie, Italie), où l'étude post-crânienne des individus épigravettiens (11000 BP) et néolithiques (VI^e millénaire BP) ne souligne pas de différence pour les membres supérieurs (Formicola, 1986b). En revanche, concernant les membres inférieurs, l'auteur remarque que ceux des épigravettiens sont plus robustes que les néolithiques et que les insertions musculaires sont plus grandes, probablement en relation avec les activités de chasse (*ibid.*). Le constat d'une gracilisation plus ou moins partielle du squelette est également fait pour d'autres populations européennes et du bassin méditerranéen : « [...] *il semble qu'en Europe occidentale il y ait eu une gracilisation des populations au cours du Néolithique qui semble avoir atteint son maximum au Néolithique moyen. Ce phénomène a intéressé aussi bien le format que la forme, il avait dû commencer dans des régions dès ce que nous considérons comme du Mésolithique, mais où des processus de néolithisation ne sont pas à exclure* » (Crubézy *et al.*, 2003) (p 193).

c.2 État sanitaire et alimentation

Des modifications alimentaires rapides, liées à de nouveaux modes de vie, sont susceptibles de provoquer des modifications biologiques chez l'Homme. Mais quel en est le véritable impact ? Tout d'abord, il est important de noter que le changement d'économie de subsistance (apparition et développement de l'agropastoralisme) peut détériorer les conditions sanitaires des populations humaines (Barricot, 1969; Armelagos et Harper, 2005). La promiscuité avec les animaux, devenant plus importante (Canci *et al.*, 1996a ; Formicola, 1997), induit un accroissement des agents pathogènes et une transmission microbienne : rougeole, variole et tuberculose par exemple sont depuis la néolithisation transmissibles à l'Homme. Par ailleurs, dans certaines zones de l'Europe, les techniques chirurgicales connues au Mésolithique se développent au Néolithique (Piontek, 2003). On observe également, une différence de pathologie dentaire entre les populations ayant une alimentation riche en protéines et les populations ayant une alimentation riche en glucides. Les premiers ont des problèmes plus importants de tartre et les seconds de caries. La carie est une lésion infectieuse qui se développe beaucoup à partir du Néolithique en parallèle avec l'augmentation de la consommation de ressources glucidiques (végétales) (Larsen, 2006). L'étude de sites italiens, et plus particulièrement en Ligurie, montre que les caries et les pertes dentaires *ante mortem* sont quasiment inexistantes dans les populations de chasseurs-cueilleurs, surtout chez les individus masculins, contrairement à ce que l'on observe chez les individus du Néolithique (Formicola, 1987). Dans cette même région, les taux de caries approchent 10 % en moyenne au Néolithique et 2,5 % en moyenne à l'Epipaléolithique et au Mésolithique (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) (Borgognini-Tarli et Repetto, 1985). Cependant, il n'existe pas toujours de relations directes entre l'alimentation et cette pathologie, comme le montrent les fréquences importantes de caries chez certaines populations du Néolithique ancien chez lesquelles les ressources issues de la prédation sont encore très présentes

(chasse et pêche en proportion non négligeable) (Formicola, 1987). L'hypothèse d'une dégradation des conditions sanitaires chez les populations adoptant un mode de vie néolithique peut être liée à la consommation de ressources domestiques. En Ligurie par exemple, les pathologies qui peuvent être mises en relation avec des stress alimentaires (hypoplasie de l'émail dentaire, *cribra orbitalia* ou lignes de Harris ; cf. Chap II. § B), n'apparaissent qu'à la fin du Néolithique ancien et non au début (Formicola et Canci, 2003). L'ensemble de ces observations amène par ailleurs l'auteur à réfléchir sur l'influence de facteurs biologiques (génétiques notamment) plutôt qu'alimentaires, favorisant le développement des pathologies.

Economie de subsistance	Taux de caries
Pêcheurs-chasseurs-cueilleurs	0,0-5,3 %
Economie mixte (prédation-production)	0,44-10,3 %
Agriculteurs	2,3-26,5 %

Tab. 1. Proportions de caries en fonction des régimes alimentaires (d'après les travaux de Borgognini-Tarli et Repetto, 1985).

Tenter de définir des relations entre l'état sanitaire et l'alimentation est un exercice parfois délicat, comme le montrent les exemples cités précédemment, mais indispensable si l'on souhaite discuter des statuts sociaux et culturels de populations (Lillie et Richards, 2000). L'existence de différents modèles de colonisation et d'hypothèses sur les processus de néolithisation suggère que l'impact des nouveaux modes de vie sur les processus biologiques était probablement variable. En Europe centrale par exemple, où le développement de l'agriculture domine dès les premières périodes néolithiques, l'adaptation biologique diffère probablement quelque peu de celle des populations méditerranéennes (Piontek, 2003).

5 - L'économie de subsistance

L'apparition et l'adoption d'une nouvelle économie de subsistance se sont produites par des processus plus ou moins longs (Mills, 1987). L'élevage semble plus présent que l'agriculture au début du Néolithique, ce qui laisse penser que l'évolution des modes de subsistance entre le Mésolithique et le Néolithique peut être relativement progressive (Mills, 1987). Toutefois, des biais taphonomiques et la remontée du niveau marin ne nous permettent pas de connaître avec précision le rôle économique conjoint des différents types de sites (plein air/grotte, proche de la côte/intérieur des terres) dans l'économie de subsistance. Finalement l'étude de l'alimentation humaine est ciblée sur quelques sites particuliers et nous renseigne sur une période ponctuelle (dans le cas d'une utilisation saisonnière ou à moyen terme) ou bien sur des activités complémentaires à celles d'autres sites. Les différents écosystèmes n'offrent pas les mêmes possibilités et, même si le système de production alimentaire prédomine, il n'en reste pas moins que l'exploitation de l'environnement sauvage est toujours présent (*e.g.* l'abri Jean Cros, Guilaine

et al., 1979 et la grotte Lombard, Binder, 1991), dans des proportions variables selon les régions et la richesse écologique du milieu.

a. De la mise en place de la domestication végétale aux véritables agriculteurs

Dans le Midi de la France, la présence de céréales et de légumineuses (produits de cueillette) est attestée en contexte archéologique dès le Mésolithique sur les sites de l'Abeurador (Hérault) et de Fontbrégoua (Var) (Courtin, 2000) par exemple. Cependant, c'est au Néolithique que les espèces végétales originaires du Proche-Orient sont cultivées, notamment les céréales. Il est difficile au début du Néolithique ancien de connaître le véritable impact de la domestication végétale. Celle-ci est attestée sans aucun doute dans les sites archéologiques puisque des grains de blé carbonisés sont retrouvés (*e.g.* Fontbrégoua, Var) ainsi que des éléments matériels (houe, meule, bâton à fouir et broyeur). Même si la culture cardiale est considérée comme une source de l'expansion agricole dans les zones occidentales de la Méditerranée (Guilaine, 1976 ; 1994), la culture des céréales semble encore balbutiante et son développement très progressif (Vaquer, 1990). Toutefois, lorsque les conditions de conservation le permettent, de nombreuses graines peuvent être découvertes sur les sites du Néolithique ancien, comme l'attestent les fouilles du village lacustre de La Draga (Banyoles, Catalogne) (Bosch *et al.*, 1999). Ces prémices demeurent dans les périodes de transition avec le Néolithique moyen, comme sur le site de Montbolo (culture de transition entre l'Epicardial et le Chasséen méridional) où les traces d'activités sont quasiment imperceptibles, excepté les éléments de meules (Guilaine, 1974). Il existe cependant des cas particuliers, comme le site du Baratin (Courthézon, Vaucluse) où l'impact agricole aurait été plus intense (Courtin, 2000). Les espèces végétales principalement présentes au Néolithique ancien en zone méditerranéenne sont les suivantes : *Triticum dicoccum* et *Triticum monococcum* (amidonnier et engrain) dans le bassin méditerranéen ; *Triticum aestivo var. compactum* (blé tendre hérisson) et *Hordeum vulgare var. nudum* (orge polystique nu) en Espagne et en France méridionale ; *Pistacia species* (pistache), mais aussi des oléagineux et des légumineuses (gesse chiche, pois) qui font parties de la cueillette (Marinval, 1988). La présence de légumineuses est également attestée dans les niveaux néolithiques de l'Abeurador (Félines-Minervois, Hérault) (Vaquer et Barbaza, 1987), mais ne témoigne probablement pas seulement de l'alimentation des populations humaines puisque ces dernières pouvaient être destinées au fourrage des animaux (Vernet *et al.*, 1987). Cette dernière hypothèse pourrait être vérifiée par l'analyse isotopique du collagène osseux de ces animaux (*cf.* Chap. II § A-4-a.2), mais cette étude n'a pas été réalisée sur ce site en particulier.

La culture chasséenne méridionale témoigne d'un grand changement dans l'économie néolithique ; elle est souvent considérée comme celle de véritables agriculteurs et éleveurs

(Phillips, 1982 ; Mills, 1987 ; Vaquer, 1986 ; Montjardin et Roger, 1991). En effet, les restes carpologiques sont beaucoup plus nombreux qu'à la période précédente, et surtout plus diversifiés, notamment dans les communautés villageoises, où la céréaliculture serait une activité prépondérante (Vaquer, 1986). La culture des légumineuses est également bien présente comme l'attestent les nombreux restes carpologiques de vesce commune retrouvés dans le site de Claparouse (Vaucluse ; Bouby et Léa, 2006). De nouvelles espèces végétales apparaissent : *Hordeum vulgare* (orge polystique vêtu), *Vicia faba* (fève), *Olea europaea* (olivier), tandis que l'amidonner et l'engrain se développent (Marinval, 1991). La plupart de ces espèces sont présentes sur les sites chasséens comme à Puech de la Fontaine (Gard), où les céréales cultivées sont l'orge, l'amidonner, le blé tendre à grain nu et l'engrain (Royer, 1988). La diversification végétale observée à partir du Chasséen serait le témoignage d'une évolution des techniques agricoles grâce à laquelle l'augmentation des rendements, même sur les terrains hostiles, permettrait une extension de l'espace habitable (Marinval, 1991). Cette hypothèse peut être étayée par les éléments de faucilles, de meules et broyeurs retrouvés pour cette période. Les études de Marinval sur « l'identité du Chasséen », soulignent que dans le sud de la France, en particulier, il n'existe pas réellement de différence qualitative entre la production agricole du Chasséen et les productions antérieures. La différence quantitative qui a existé entre ces périodes peut être due à une consommation de céréales et de légumineuses plus importante au Chasséen par rapport au Cardial. L'hypothèse d'un accroissement de la consommation des végétaux cultivés dans l'alimentation quotidienne des populations humaines au Chasséen peut-il être la contrepartie d'une éventuelle diminution de la consommation de ressources carnées ? Enfin, même s'il est possible d'attester la consommation de céréales, de légumineuses et de certains fruits, connaître la part et le rôle des légumes (légumes verts, racines, tubercules) dans l'alimentation Néolithique est quasiment impossible (Roudil, 1992). De plus, même si la culture et la consommation de céréales se développent, la cueillette reste, sans aucun doute, une activité plus que d'appoint et très importante lors des périodes de mauvaises récoltes.

b. L'exploitation des végétaux sauvages

Connaître les ressources végétales sauvages ayant pu participer aux ressources alimentaires des populations néolithiques n'est pas aisé. La place dans le régime alimentaire des ressources tels que les oléagineux (noix, noisettes) ou les glands par exemple, n'est pas précisément discernable. En effet, si certains se retrouvent parmi les restes carpologiques (*e.g.* présence de glands carbonisés au cardial sur le site de Pendimoun ; Binder *et al.*, 1993), les feuilles ou les racines consommées par exemple, restent non documentées puisqu'elles se conservent uniquement dans des conditions exceptionnelles. D'après Mills (1987), la présence de végétaux sauvages sur les sites du Néolithique ancien pourrait être en faveur d'un rôle moindre de l'agriculture lors de son apparition.

c. Élevage et chasse au Néolithique : choix symbolique ou culturel ?

c.1 L'élevage

« L'appropriation d'animaux par les chasseurs-cueilleurs et leur maintien en vie dans des conditions de captivité ne peuvent [...] pas être considérés comme une preuve d'acquisition nouvelle de compétences techniques. Ce n'est rien de plus (mais rien moins) qu'une illustration supplémentaire de la grande maîtrise du monde animal (et probablement végétal) qu'avait acquis Homo sapiens depuis plusieurs dizaines de millénaires. La naissance de la domestication nous en apprend donc plus sur l'évolution cognitive ou socio-économique que sur celle des techniques et des savoirs » (Vigne, 2005) (p. 90).

L'origine sauvage des différents taxons domestiques du Néolithique a suscité de nombreux débats (e.g. Vigne et Helmer, 1999). Il est maintenant plus clairement établi, grâce aux nombreux travaux sur ce sujet, que dès le Cardial, presque toutes les espèces domestiques présentes au Néolithique sont importées. Le mouton, très présent dans le sud de la France et sur toute la façade atlantique, est issu du mouflon rouge oriental (*Ovis orientalis*) (Helmer, 1991), et la chèvre, issue de la chèvre aegagre (*Capra aegagrus*) du Proche-Orient (Helmer, 1991 ; Vigne, 2000). Le chien est issu du loup (*Canis lupus*) et le chat, d'origine eurasiatique (*Felis sylvestris*) est toujours présent à l'état sauvage dans ces régions (*ibid.*). Le bœuf est domestiqué à partir de *Bos taurus primigenius* (aurochs) et le porc est issu du sanglier asiatique, *Sus scrofa vittatus* (*ibid.*), qui pour certains auteurs (Geddès, 1985 ; Helmer, 1992) est uniquement à l'état sauvage pour la période cardiale en Provence et en Ligurie. L'apparition soudaine de ces taxons domestiques dans le nord-ouest de la Méditerranée étaye l'hypothèse d'une arrivée coloniale de la culture à céramique imprimée (Guilaine, 1994), mais également des capacités techniques des premiers agro-pasteurs (Vigne, 2005). Dans les régions méditerranéennes du sud de la France, les caprinés (*Ovis* et *Capra*) sont prédominants au Néolithique ancien (Vigne et Helmer, 1999). L'élevage de ces animaux permet diverses exploitations, dès les phases anciennes du Néolithique, qui vont devenir quasiment indispensables à la survie des populations :

- l'apport d'aliments carnés et de lait, production secondaire consommée dès le Cardial ancien (Vigne et Helmer, 1999). La production de lait est généralement mise en évidence par l'étude des courbes d'abattage, des études sur le sevrage, par des éléments archéologiques tels que les faisselles et l'analyse des résidus organiques dans les poteries (Balasse *et al.*, 1997 ; Tresset, 1996 ; Balasse, 1999 ; Balasse *et al.*, 1999; Dudd *et al.*, 1999 ; Craig *et al.*, 2005).
- L'exploitation de la force animale (traction, portage), permettant l'expansion des cultures.

- L'exploitation de la peau, de la laine et des poils, notamment à partir du Chasséen (Helmer et Vigne, 2004), ainsi que des tendons et des os, pour l'outillage, les vêtements.

Ajoutons à ces aspects pragmatiques, l'apport pratique (pour la chasse notamment), voire ludique et sentimental, de l'animal de compagnie.

L'étude des caprinés sur des sites néolithiques du sud de la France a montré que l'élevage pouvait être spécialisé : viande et laine pour les ovins et lait pour les caprins (Helmer et Vigne, 2004 ; Helmer *et al.*, 2005). Ces résultats témoignent par ailleurs du fait que la gestion de l'élevage était bien maîtrisée dès le début du Néolithique (*ibid.*). La plupart des sites archéologiques connus pour le Cardial sont des abris ou grottes dans lesquels le parcage et la mise bas des caprinés sont attestés (Helmer *et al.*, 2005) (Fig. 4), notamment grâce aux études archéozoologiques (Helmer *et al.*, 2005) et sédimentologiques (Beeching et Moulin, 1983 ; Brochier, 1981 ; 1983). En effet, la sédimentologie est une discipline qui, appliquée à l'archéologie, apporte un bon nombre d'informations complémentaires quant à la pratique de l'élevage. L'étude de l'accumulation et de la fossilisation des défécations dans les grottes et les abris indique la présence d'animaux parqués sur les lieux, depuis le début du Néolithique (Brochier, 2005). L'analyse géoarchéologique de ces sols permet entre autres de connaître les végétaux qui ont servi de litière et de fourrage à ces animaux (parfois complétée par des analyses anthracologiques), par la présence de phytolithes spécifiques.



Fig. 4. Parcage dans la grotte d'Uzzo (Sicile) (cliché J. Courtin dans Courtin, 2000).

L'économie d'élevage de la période Chasséenne est différente de celle de la période précédente. En effet, au Chasséen ancien le bétail s'accroît (Helmer, 1991) et cet élargissement de la production touche autant l'aspect végétal qu'animal (Courtin, 1974 ; Vaquer, 1986 ; Roudil, 1992), favorisé par l'établissement des sites de plein air (Vaquer, 1998a). Cette remarque n'est pas restreinte à un espace géographique, mais elle répond probablement à une unité culturelle puisque les observations archéozoologiques effectuées dans le nord de la France et dans le Bassin

parisien (Chasséen septentrional) indiquent un approvisionnement carné dominé par l'élevage (Arbogast *et al.*, 1991). L'exploitation des caprinés est toujours importante à la période chasséenne mais celle du bœuf, déjà prédominante dans le Chasséen septentrional, se développe. En effet, l'étude des sites du Languedoc Oriental atteste que l'exploitation du mouton est toujours importante mais que celle du bœuf le devient de plus en plus, notamment dans les grands villages comme Villeneuve-Tolosane (Haute-Garonne), où l'élevage de bovins est l'une des principales activités (Vaquer, 1986 ; 1990). Dans le sud-est de la France, les moutons et les chèvres restent, au Néolithique moyen, les principales espèces consommées (Helmer, 1991). Dans cette même région, le porc est domestiqué au Néolithique moyen et son exploitation serait influencée par l'économie de subsistance du Chasséen septentrional qui possède un cheptel principalement composé de bœufs et de porcs, mais de peu de moutons et de chèvres (*ibid.*). L'exploitation du lait et des produits laitiers s'accroît (Vigne et Helmer, 1999), tout comme celle des produits secondaires de l'animal. Cette expansion généralisée est concomitante à celle de la population et donc de l'habitat. Ces remarques sont également observables dans le nord de la France (Vallée de la petite Seine) à la transition Néolithique ancien/Chasséen septentrional (Arbogast *et al.*, 1991) où des transformations techno-économiques, sociales et environnementales sont liées aux premiers grands villages Néolithiques. Enfin, comme le soulignent Perlès (2001) et Roudet (2003), le pastoralisme pouvait être, du moins à certaines périodes (de production opulente par exemple), bien plus une nécessité socio-culturelle (*e.g.* pour les offrandes) qu'une nécessité économique ou de subsistance.

c.2 La chasse

Le rôle de la chasse dans l'économie de subsistance du Néolithique ancien et moyen est parfois difficile à cerner et varie selon les sites. L'avènement du Néolithique entraîne généralement une régression des activités cynégétiques due au développement de l'élevage (*e.g.* sites de Gazel dans l'Aude, et Fontbrégoua dans le Var, où l'on observe un faible taux de chasse). Il n'en reste pas moins que l'image d'une rupture économique avec les activités de prédation au Néolithique ancien est actuellement reconnue comme biaisée et que la chasse, notamment de grands gibiers, reste non négligeable (Vigne, 2000). Tresset et Vigne (2001) proposent un rôle de la chasse plus important qu'il n'y paraît au Néolithique ancien, autant dans les régions méditerranéennes que septentrionales. Par exemple, sur le site de Roucadour (Lot) la chasse reste importante tout au long du Néolithique (P. Ducos *in* Niederlender *et al.*, 1966 ; Tresset dans Horard-Herbin *et al.*, 2005), tout comme à Châteauneuf-les-Martigues (Bouches du Rhône) où l'économie de subsistance est dirigée vers le lapin, le cerf et le sanglier (Courtin, 1974). Dans le sud-est de la France, les sites ont révélé l'exploitation de beaucoup d'espèces carnivores chassées (dix ou plus) (Binder, 1991) et la proportion de faune sauvage peut atteindre 40, 60 voire 90 %

(e.g. grotte Lombard, Alpes-Maritimes). Néanmoins, les espèces sauvages constituent plus vraisemblablement un complément alimentaire (Binder, 2000). Pour Tresset et Vigne (2001), les différences économiques et le rôle de la chasse se répartissent géographiquement : zone gréco-apulienne, agricole et zone ouest-méditerranéenne, pastorale ; cette répartition serait influencée par des facteurs « écologiques, historiques et techno-économiques ». Cette dichotomie avait déjà été observée par Vigne et Helmer (1999) dans les régions de la Grèce et des Pouilles, où des sites à faible taux de chasse sont attestés, et dans la zone méditerranéenne occidentale, dans laquelle des sites à fort taux de faunes chassées sont présents. Ainsi, des régions telles que le Languedoc et la Provence ont pu conserver une emprise des « traditions » mésolithiques plus importante (à l'exception de certains sites comme Pendimoun, Gazel et Châteauneuf-les-Martigues). Helmer (1991) et Guilaine (Guilaine *et al.*, 1979; Guilaine, 1994) proposent une interprétation identique, dans laquelle l'arrivée de la néolithisation ne rompt pas avec l'économie de chasse (e.g. l'abri Jean Cros). Ces deux activités sont complémentaires et varient selon les richesses des ressources environnementales. Ainsi, le choix des activités de chasse se définit par les conditions environnementales, surtout au Néolithique ancien, où le déboisement n'a pas l'ampleur qu'il connaîtra ultérieurement, mais également par des influences socio-culturelles du substrat mésolithique (Augereau *et al.*, 1993 ; Binder *et al.*, 1993 ; Vaquer, 1998a).

Le choix de la chasse peut, dès le Néolithique ancien, avoir une importance symbolique ou sociale (Sidéra, 2003), voire ludique comme dans des sociétés actuelles (Hubert, 1985) « *au point d'introduire des espèces sauvages dans les nouvelles terres colonisées* » (Guilaine *et al.*, 1998 ; p 39). Cette remarque est également faite par Vigne et Helmer (1999) qui soulignent un maintien de la hiérarchie sociale en raison du poids symbolique des espèces sauvages, telles que le cerf, le bouquetin, le sanglier ou l'aurochs, dans la chasse à la fin du Mésolithique et au début du Néolithique. Les cerfs tiennent par ailleurs une place symbolique des plus importantes parmi les espèces sauvages ; leur déplacement et leur transfert à des fins cynégétiques sont attestés dès le début du Néolithique (Vigne, 1993).

L'économie de la chasse à la période Chasséenne prend des proportions différentes par rapport à celle du Néolithique ancien. Certains auteurs pensent que l'expansion de la production donne un rôle très atténué à la chasse (5 à 10 % de la part de la consommation carnée en Provence par exemple) (Courtin, 1974), et de manière plus appuyée dans le sud de la France que dans le nord ou en Suisse (Helmer, 1991). L'exploitation des petits carnivores, encore bien présente au Néolithique ancien diminue, peut-être en relation avec le recul des zones forestières par le défrichage (Helmer, 1991). L'intérêt que porte l'Homme aux espèces sauvages se retrouve également dans le nord de la France (Vallée de la petite Seine) où l'augmentation du gibier (cerfs) dans les ressources alimentaires du Néolithique moyen est observée dans les gisements (Augereau *et al.*, 1993 ; Tresset et Vigne, 2001). C'est aussi le cas d'autres régions de France,

dans lesquelles des sites du Néolithique moyen (*e.g.* Clairvaux, Jura) témoignent d'une économie alimentaire dont les produits issus de la chasse constituent un apport carné principal (Pétrequin et Pétrequin, 1988).

d. Ressources aquatiques : où, quand, combien ?

Il est relativement difficile de connaître la consommation réelle des produits marins (ou d'eau douce) des populations du Néolithique pour plusieurs raisons. La première est que beaucoup de sites côtiers sont actuellement sous les eaux. Ces sites submergés peuvent avoir eu une fonction de site de « dépeçage » d'animaux marins (poissons, mollusques, mammifères marins). La deuxième est que les coquilles de mollusques sont parfois retrouvées sous forme d'éléments de parure, et donc pas nécessairement consommées (témoignages d'échanges ; Vigié, 1985). Malgré tout, des sites côtiers actuels de la Provence et du Languedoc, comme à La Madeleine (Hérault), où la présence de restes de mollusques marins (*Mytilus edulus* ; *Cardium* sp.) et de poissons de type daurade est attestée (Courtin, 1974), fournissent quelques témoignages des activités de pêche. C'est le cas également du site côtier de Leucate-Corrèze (Languedoc) dans lequel quelques vestiges archéologiques tels que des poids de filets ont été découverts (Vaquer, 1998a). A l'intérieur des terres, la consommation de produits marins est aussi présente, ce qui suppose des contacts avec les populations du littoral (Courtin, 1974) et/ou la consommation d'espèces anadromes (*e.g.* consommation probable de saumons de l'Atlantique sur les sites de la région toulousaine). La pêche et la collecte des ressources marines sont peut-être plus fréquentes que ce que l'on peut en déduire actuellement des sites archéologiques. C'est une activité probablement assez régulière sur les sites côtiers, comme le montrent les restes de mollusques sur les sites provençaux cardiaux de Pendimoun, Châteauneuf-les-Martigues, Rioux et Cap Ragnon (Binder, 1987). Au Néolithique moyen, la consommation des ressources marines et particulièrement la collecte des mollusques, semblent diminuer autant en quantité qu'en qualité (Cade, 1999 ; 2004).

De l'alimentation au symbole : la tortue cistude

L'exploitation des eaux douces par les populations néolithiques est en général peu documentée. Il n'en reste pas moins que l'attrait pour ce milieu ne doit pas être sous-estimé. Dans le sud de la France, la présence de la tortue cistude (*Emis orbicularis*) est attestée sur plusieurs sites, notamment à la grotte d'Unang (Vaucluse), à l'abri Jean Cros (Aude) et plus particulièrement à la Baume de Fontbrégoua (Var), où son rôle dans l'économie de subsistance des néolithiques ne doit pas être négligé (Cheylan et Courtin, 1976 ; Cheylan, 1979). Cette espèce est généralement acquise aisément dans les cours d'eau ou les marais, et les traces de crémation sur la plupart des ossements ainsi que les bris de carapace témoignent de son mode de préparation

culinaire (Cheylan et Courtin, 1976). Outre sa fonction alimentaire, la tortue cistude est également utilisée dans la fabrication d'objets de parure et parfois associée à des contextes funéraires, mais de façon plus anecdotique. L'intérêt que portaient les néolithiques à ce type de ressources n'était donc pas moindre, variant au cours du temps et d'un site à l'autre.

e. Et les insectes ?

La consommation d'insectes, préparés de diverses manières est encore actuellement, pour certaines populations, une ressource alimentaire importante (Ramos-Elorduy, 1996) qui peut pallier des déficiences nutritionnelles et constituer une ressource intéressante lors des périodes de disettes. D'une manière générale, la paléoentomologie permet de reconstituer les écosystèmes anciens (Ponel, 2005), mais dans ce cadre aucun témoignage réel de la consommation des insectes n'a pu être apporté pour les populations européennes au Mésolithique et au Néolithique. Était-elle inexistante pour autant ? Le problème se pose également dans le mode de consommation, puisque ces derniers sont dégustés entiers. Par conséquent, seul le témoignage d'un stockage pourrait apporter des éléments d'informations. L'une des voies possibles pour cette recherche est le dosage d'éléments traces tel que le cuivre (Lidén, 1995a), qui se trouve en grande quantité dans les insectes mais également dans les crustacés. Les $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ ont également été mesurés chez des animaux insectivores (Bocherens et Mariotti, 1992 ; Rodière, *et al.*, 1996), mais les résultats indiquent des valeurs similaires à celles des carnivores terrestres ($\delta^{13}\text{C}$ un peu plus faible que les carnivores). La consommation d'insectes est par conséquent très difficile à mettre en évidence dans le contexte archéologique.

L'économie de subsistance évolue et se diversifie dans les différentes zones géographiques depuis le début du Néolithique, grâce à la domestication animale et végétale. Au Néolithique ancien, l'acquisition des ressources semble très diversifiée, notamment en ce qui concerne les ressources carnées, à la fois chassées et produites. La qualité (en terme d'espèce) des produits marins et végétaux consommés est assez bien identifiée, mais il est difficile d'en apprécier les réelles quantités en raison de la conservation différentielle. Au Néolithique moyen, les productions animales et végétales se développent et il est difficile cette fois de connaître le rôle exact des ressources sauvages (marines et terrestres). Cependant, l'existence et le développement de réseaux d'échanges au Chasséen permettent probablement aux populations de consommer, peut être de manière régulière, des ressources qu'elles ne produisent pas directement ; pour cette période, il est possible qu'il n'y ait pas de similarité entre les ressources produites et les ressources consommées. En effet, comme on peut le remarquer dans certaines populations qui existent actuellement (Takeda et Sato, 1996), les Néolithiques pouvaient être

spécialisés dans l'agriculture ou dans l'élevage (et pas obligatoirement procéder aux deux) et compléter leur alimentation par la cueillette, la chasse ou les échanges avec d'autres agriculteurs ou éleveurs (Ichikawa, 1996). Les assemblages archéozoologiques et archéobotaniques découverts sur les sites archéologiques, peuvent refléter des stratégies alimentaires de l'ensemble d'une population sur une période plus ou moins longue (une saison ou une phase culturelle), mais ils risquent de surévaluer certaines ressources (animales) par rapport à d'autres (végétales) en raison des biais taphonomiques. De plus, ces assemblages ne peuvent pas témoigner précisément des choix individuels. La consommation de certains aliments, comme par exemple celle des insectes, n'est pas du tout vérifiable sur les terrains archéologiques. Les différents taxons susceptibles d'être consommés ne contribuent parfois pas aux ressources alimentaires de certaines catégories sociales et/ou peuvent faire l'objet de « tabou » selon l'âge, le sexe, le statut de l'individu ou les croyances : *« une lecture de la littérature ethnographique montre que le partage de la nourriture n'est ni universel ni uniforme. Les différentes sociétés s'organisent de façon différentes pour approvisionner leurs membres en aliments. Il existe au sein des sociétés des conditions variables qui entraînent des changements dans les modes de partage de la nourriture »* (Enloe, 1992 ; p. 309). Il n'est donc pas exclu que les premières populations agropastorales du Néolithique, ayant des ressources alimentaires plus facilement à leur disposition tout le long de l'année, aient pratiqué des choix alimentaires, répondant à une idéologie ou des choix culturels précis (Roubet, 2003). Ce type d'hypothèse rend alors plus difficile les interprétations des stratégies de subsistance de ces populations.

B - Étude des modes de subsistance par l'utilisation des isotopes stables (carbone et azote) du collagène osseux : état de la question et problématique

Comme nous l'avons vu précédemment, l'approche de l'évolution des modes de subsistance, au cours du Néolithique, est un sujet qui a fait et fait encore l'objet de recherches dans diverses disciplines. Archéologues, archéozoologues, anthracologues, carpologues, palynologues, malacologues, anthropologues, s'attachent à faire évoluer les connaissances de ces périodes depuis plus d'un siècle. Le Midi de la France n'a pas échappé à cet engouement et a suscité une littérature prolixe, notamment grâce aux travaux de Guilaine (Guilaine, 1974 ; 1976 ; 1991 ; 1994 ; 1996 ; 1997 ; 1998 ; 2003 ; Guilaine J. et Guilaine C., 1998 ; Guilaine *et al.*, 1987 ; Guilaine *et al.*, 1993) et d'autres chercheurs (Courtin 1974 ; 2000 ; Vaquer, 1986 ; 1990 ; 1998 ; Binder et Courtin, 1987 ; Binder et Sénépart, 2004 ; Binder, 2005a ; 2005b). Ces recherches ont dégagées les caractéristiques spécifiques du Néolithique de ces régions, qui se sont enrichies au fur et à mesure des découvertes. L'une des caractéristiques est l'évolution des modes de subsistance des populations humaines, qui passent d'un système prédateur à un système producteur. Par ailleurs, l'acquisition, par diffusion et/ou colonisation, de nouveaux systèmes technico-économiques a induit des changements alimentaires mais également des changements sociaux (proto-urbanisme, hiérarchisation sociale).

1- La biochimie isotopique : de la connaissance de l'individu à celle de la population

Il y a une quarantaine d'années, le développement de nouvelles méthodes et techniques issues de la biologie, de la chimie, des sciences de la Terre et de l'Univers a permis d'engager de nouvelles voies de recherches (datations, études isotopiques et des éléments traces). Parmi celles-ci, l'étude des isotopes stables de certains éléments des restes osseux et dentaires a permis d'obtenir de nouvelles informations sur certains aspects des populations préhistoriques. L'utilisation des isotopes stables du carbone et de l'azote ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) du collagène osseux permet d'apporter des informations sur la consommation des protéines durant les dernières années de vie d'un individu, et par conséquent de connaître l'environnement dans lequel il a vécu ainsi que sa place dans le réseau alimentaire. Ainsi, il est possible d'étudier des données d'ordre alimentaire et environnementale au niveau de l'individu lui-même ou d'un groupe d'individus présents sur un site archéologique. Depuis les travaux de Tauber (Tauber, 1981) sur les changements de subsistance entre le Mésolithique et le Néolithique au Danemark, d'autres études

en Europe ont développé cette problématique à l'aide de cette approche biochimique (Lubell, 1994 ; Richards et Hedges, 1999 ; Lillie et Richards, 2000 ; Richards et Schulting, 2000 ; Richards *et al.*, 2003c ; Milner *et al.*, 2003).

En Europe, la néolithisation a été décrite comme une période au cours de laquelle les populations humaines « tournent le dos à la mer » (Schulting et Richards, 2002), bien que de nombreux sites archéologiques (en Suède, dans la région danubienne) ne semblent pas suivre ce schéma, non seulement par leurs artefacts, mais également par leurs données archéozoologiques et isotopiques (Eriksson, 2003 ; Milner *et al.*, 2003). Plusieurs auteurs s'accordent à dire que les choix alimentaires et leur évolution s'articulent autour de processus complexes à appréhender, nécessitant des études supplémentaires abondantes et étoffées (Lidén 1995b ; Lidén *et al.*, 2004). Dans cette même perception, certains proposent l'hypothèse d'une implication de phénomènes « religieux-culturel » provoquant chez les populations néolithisées un rejet des anciennes traditions alimentaires (Thomas, 2003 ; Richards, 2003). En ce qui concerne le nord-ouest de la Méditerranée, même si les premières populations du Néolithique adoptent de nouveaux moyens de subsistance, une économie principalement fondée sur les ressources terrestres, et particulièrement agricoles, semblerait plus clairement définie lors de phases avancées du Néolithique (Vaquer, 1986). Quoi qu'il en soit, les mutations alimentaires observées lors de la néolithisation ne sont pas obligatoirement aussi simples dans toutes les régions, et c'est bien là tout l'intérêt d'une approche isotopique. Sur le site de Lepinski Vir (vallée du Danube) par exemple, les premiers néolithiques continuaient à consommer beaucoup de produits fluviaux, l'agriculture et l'élevage ne s'imposant pas (Bonsall *et al.*, 1997). Cette observation contraste avec d'autres régions d'Europe, comme la Scandinavie, où l'adoption des méthodes de production est rapide (Tauber, 1983 ; Richards *et al.*, 2003c).

2 - Les études isotopiques déjà réalisées : un contraste géographique et culturel

Comme précisé précédemment, de nombreux travaux sur la néolithisation par l'étude des isotopes stables ont été réalisés dans différentes zones géographiques. Actuellement certaines régions sont assez bien documentées, c'est notamment le cas de la Baltique (Tauber, 1981 ; Lidén, 1995a ; Milner *et al.*, 2003 ; Richards *et al.*, 2003c ; Eriksson, 2003 ; Lidén *et al.*, 2004), de la région de l'Europe du nord et Atlantique (Lubell *et al.*, 1994 ; Richards et Hedges, 1999 ; Schulting et Richards, 2001 ; Richards, 2003) et de l'Europe centrale (Bonsall *et al.*, 1997 ; Lillie et Richards, 2000 ; Cook *et al.*, 2002 ; Bonsall *et al.*, 2004 ; Ogrinc et Budja, 2005 ;). L'Est de la Méditerranée voit également se développer ce type d'approche (Lange-Badré et Le Mort, 1998 ; Papathanasiou, 2003 ; Richards *et al.*, 2003b), et plus sporadiquement des régions à l'ouest de la

Méditerranée ainsi que quelques parties de l'Asie, comme en Chine (Krigbaum, 2003 ; Pechenkina *et al.*, 2005). Les analyses isotopiques nombreuses réalisées sur les restes humains des cultures néolithiques agropastorales du nord, de l'est et du centre de l'Europe, proposent actuellement des informations intéressantes dans l'étude de l'évolution des modes de subsistance : évolution rapide, mais pas définitive pour les zones les plus nordiques et plus lente et transitoire pour les cultures d'Europe de l'Est (*e.g.* région du Danube, Ukraine). Le nord-ouest de la Méditerranée reste encore très peu étudié alors que les recherches archéozoologiques et archéobotaniques sont nombreuses dans cette région. De fait, le cadre écologique est bien documenté et fournit une base solide indispensable pour l'approche isotopique. Dans cette région, les informations apportées par des méthodes biochimiques sont principalement celles d'études réalisées en Corse (Bocherens, 1999 ; Costa *et al.*, 2003) dans le nord-ouest de l'Italie (Francalacci, 1988 ; 1989 ; Francalacci et Borgognini Tarli, 1988 ; Pettitt *et al.*, 2003) et plus ponctuellement en Espagne (Subirà et Malgosa, 1996 ; Garcia-Guixé *et al.*, 2006).

3 - Problématique d'étude : compléter les données sur les modes de subsistance au Néolithique dans le nord-ouest de la Méditerranée.

Le sud de la France, les cultures cardiale et chasséenne méridionale, n'ont encore jamais fait l'objet d'une étude de ce type. Quelques données sur le Mésolithique de l'est de l'Espagne et l'ouest de l'Italie ont déjà été publiées (*vide supra*). Toutefois, aucune étude isotopique sur les restes osseux humains et animaux du sud de la France au Néolithique n'a été présentée jusqu'à maintenant. Par conséquent, il nous a paru intéressant d'étudier les isotopes stables ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) du collagène osseux pour compléter les connaissances relatives à l'alimentation de ces populations, et qui plus est dans une perspective diachronique. Le choix de la période se justifie au vu des profondes transformations économiques, notamment alimentaires, qu'elle a connues. Le cadre spatio-temporel que nous étudions, s'étend du VI^e au IV^e millénaire av. J.-C., principalement en France (Pyrénées-Orientales, Languedoc-Roussillon, Provence-Alpes-Côte d'Azur) mais également dans le nord-ouest de l'Italie (Ligurie). Dans ce cadre, la problématique de ce travail s'articule autour de plusieurs approches :

- **une approche individuelle**, qui a pour objectif d'appréhender les différences alimentaires possibles entre les individus d'un même site et de mettre en relation ces informations avec un contexte environnemental, biologique (*i.e.* sexe, âge, état sanitaire et stature) et archéologique (*i.e.* pratiques funéraires) propre à chaque site.
- **Une approche chrono-culturelle**, dans le but d'apporter des éléments d'information sur l'évolution possible des choix alimentaires au cours de la néolithisation, entre les différentes cultures et les sites archéologiques. L'approche diachronique permettra ainsi

de comprendre les éventuelles substitutions de ressources au cours du temps et d'essayer d'en percevoir les causalités dans cette région.

- **Une approche géographique**, de comparaisons entre les différentes études réalisées jusqu'alors dans l'ouest de la Méditerranée. L'intérêt d'une vision globale réside dans une meilleure compréhension des motivations culturelles et/ou écologiques susceptibles d'influencer les choix de subsistance.



Chapitre II - Méthodologie, matériel d'étude et techniques

A - Les isotopes stables ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) : témoignage du passé

1- Introduction et historique

Les premières utilisations des isotopes stables ont été développées en sciences de la terre et sciences de la vie à partir de la deuxième moitié du XX^e siècle et l'amélioration des méthodes est liée à celle des techniques biogéochimiques (Libby *et al.*, 1964). En 1971, les processus photosynthétiques des végétaux et leurs variations en $\delta^{13}\text{C}$ sont mis en évidence dans les recherches de Smith et Epstein (1971). La même année, Longin (1971) propose une méthode d'extraction du collagène, à partir d'ossements, pour les datations radiocarbones. Cette méthode, utilisée en routine, est adaptée par Brown (Brown *et al.*, 1988) et par Bocherens (Bocherens, 1992) pour les applications paléoécologiques. Les travaux de Vogel et van der Merwe (1978) et de DeNiro et Epstein (1978 ; 1981) ont mis en évidence les relations existant entre la composition isotopique ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ notamment) des tissus dentaires et osseux et l'alimentation. C'est à partir de là que vont se développer de nombreux travaux sur l'étude des régimes alimentaires (O'Connell et Hedges, 1999), notamment en paléontologie et paléoanthropologie par l'utilisation des tissus fossiles (DeNiro et Epstein, 1981 ; Schoeninger *et al.*, 1983 ; Privat *et al.*, 2002).

Plusieurs voies de recherche vont se développer et améliorer nos connaissances sur l'influence du milieu et de la physiologie sur la composition isotopique des phases minérale (Sullivan et Krueger, 1981 ; Krueger et Sullivan, 1984) et organique de l'os et des dents. Les travaux pionniers dans le domaine ont permis de mieux connaître l'influence du milieu sur les fractionnements isotopiques des végétaux (Mariotti, 1982 ; Farquhar *et al.*, 1989a ; 1989b) et le long de la chaîne trophique (Minagawa et Wada 1984 ; Schoeninger et DeNiro 1984 ; Katzenberg, 1989). Des études en condition de nutrition contrôlée ont également mis en évidence que la signature isotopique en carbone du collagène reflète essentiellement celle de la partie protéinique de l'alimentation alors que la signature isotopique en carbone de la partie minérale reflète celle de l'ensemble de l'alimentation (glucides, lipides et l'excès de protéines) (Heaton, 1986 ; Ambrose, 1986 ; 1991 ; Ambrose et Norr, 1993 ; Tieszen et Fagre 1993 ; Ambrose et Krigbaum, 2003).

De nombreuses problématiques et voies de recherches se sont ainsi développées. L'une de ces voies de recherche est celle qui vise à comprendre l'origine et les modes de changements de régime alimentaire de populations au cours du temps. Parmi ces recherches, la néolithisation et l'acquisition de nouveaux modes de subsistance ont fait l'objet de nombreuses études et restent

une perspective de travail en plein développement (Lubell *et al.*, 1994 ; Bonsall *et al.*, 1997 ; Richards et Hedges, 1999 ; Lillie et Richards, 2000 ; Zilhao, 2000 ; Schulting et Richards, 2001 ; Krigbaum, 2003 ; Papathanasiou, 2003). La plupart de ces travaux, effectués dans des zones côtières, visent à comprendre le passage d'une alimentation riche en ressources marines à une alimentation tournée vers les ressources agricoles et pastorales. Dans ce domaine, les études antérieures de Tauber (1981) sur des populations préhistoriques des côtes danoises puis celles de Schoeninger (Schoeninger *et al.*, 1983 ; Schoeninger et DeNiro, 1984) et d'autres chercheurs (Walker et DeNiro, 1986 ; Aufderheide *et al.*, 1988) ont été précurseurs puisque ces chercheurs ont établi le lien entre la consommation de ressources d'origines marines et l'augmentation des rapports isotopiques de l'azote et du carbone dans le collagène des os. L'étude des changements des régimes alimentaires a également été menée en Amérique du nord où le développement de la culture et de la consommation du maïs a été mis en évidence par l'observation de l'augmentation du $\delta^{13}\text{C}$ dans le collagène osseux (Vogel et van der Merwe, 1977 ; van der Merwe et Vogel, 1978 ; Katzenberg, 1993 ; Katzenberg *et al.*, 1995).

L'utilisation des rapports isotopiques, et plus particulièrement ceux de l'azote, a aussi permis d'étudier le niveau trophique de l'individu et cette application s'est autant développée en paléontologie qu'en archéologie et en anthropologie (Schoeninger et DeNiro, 1984 ; Katzenberg, 1989 ; Bocherens *et al.*, 1991). La connaissance du niveau trophique est un aspect qui se s'étend également dans les études sur le sevrage (Wright et Schwarcz, 1998 ; 1999 ; Balasse, 1999 ; Herrscher, 2003). Enfin, même si pour des particularités taphonomiques et de préservation du matériel, la plupart des travaux s'effectuent sur des populations récentes (Herrscher, 2006), les recherches sur les hominidés ne sont pas absentes. Ce type d'approche s'est développé entre autres sur l'analyse de l'émail dentaire (Sponheimer et Lee-Thorp, 1999 ; Lee-Thorp et Sponheimer, 2000 ; Lee-Thorp *et al.*, 2003) et sur le collagène osseux (Bocherens *et al.*, 1991 ; Fizet, 1992 ; Bocherens *et al.*, 1997a ; Ambrose, 1998). Ajoutée aux éléments carbone, azote et oxygène, l'analyse d'autres isotopes comme ceux de l'hydrogène (D/H) et d'isotopes plus lourds tels que ceux du strontium ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$), du plomb (^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb) et du soufre ($^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$) se développe et permet d'enrichir nos connaissances sur les modes de vie des populations passées (Richards *et al.*, 2001a ; Richards *et al.*, 2003a ; Birchall *et al.*, 2005 ; Montgomery *et al.*, 2005).

2 - Les isotopes stables : définition, rapport et fractionnement

a. Définition

Dans la nature, les éléments chimiques peuvent se présenter sous la forme de plusieurs isotopes. Les isotopes stables sont des variétés d'un élément chimique ayant le même numéro atomique mais pas la même masse (par une différence du nombre de neutrons) et dont le noyau ne perd pas de particules à la différence des isotopes radioactifs (tel que le ^{14}C). Cette différence de masse induit des sélections naturelles en faveur d'un isotope par rapport à un autre (dit fractionnements) dans plusieurs réactions (physiques ou chimiques) où plusieurs phénomènes, telle la gravité dans lequel la taille des atomes intervient (Macko *et al.*, 1986). Ainsi les molécules constituées de l'un ou l'autre des isotopes auront des propriétés physico-chimiques différentes tels que le volume, (la masse) molaire, les températures de changement d'état, les vitesses de réaction et les constantes d'équilibre (Mariotti, 1982 ; Ader, 1999).

Le carbone et l'azote sont les éléments prédominants de la matière organique osseuse. Leurs isotopes les plus abondants sont le ^{12}C et le ^{14}N , et leur isotopes ^{13}C et ^{15}N sont en faible proportion dans la nature : 1,11 % et 0,36 %, contre 98,89 % pour le ^{12}C et 99,64 % pour le ^{14}N .

b. L'abondance isotopique

Le rapport isotopique est un rapport d'abondance entre l'isotope lourd et l'isotope léger ($^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$ et $^{15}\text{N} / ^{14}\text{N}$) d'un échantillon. Ce rapport est exprimé en référence à des standards internationaux. Le résultat est exprimé, suivant la notation δ , en ‰ :

$$\delta^{13}\text{C} = \left[\frac{(^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}) \text{ échantillon} - (^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}) \text{ standard}}{(^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}) \text{ standard}} \right] \times 1000$$

$$\delta^{15}\text{N} = \left[\frac{(^{15}\text{N} / ^{14}\text{N}) \text{ échantillon} - (^{15}\text{N} / ^{14}\text{N}) \text{ standard}}{(^{15}\text{N} / ^{14}\text{N}) \text{ standard}} \right] \times 1000$$

Les standards internationaux sont : pour le carbone, un carbonate marin (Craig, 1953), "PDB de Chicago" (restes fossiles de Bélemnite de la formation Pee Dee) ; pour l'azote, l'azote atmosphérique, N_2 (Mariotti, 1983), noté aussi AIR ("Ambiant Inhalable Reservoir"). Si un échantillon a proportionnellement plus d'isotopes lourds que dans le standard alors l'unité δ est positive et l'échantillon est dit « enrichi » en isotope lourd. A l'inverse lorsque le δ est négatif, l'échantillon est appauvri en isotope lourd par rapport à la référence.

c. Le fractionnement isotopique

L'étude de la composition des éléments chimiques a permis de mettre en évidence des variations isotopiques (Allègre et Michard, 1973). Ces variations s'observent lors des processus physico-chimiques ou lors des changements d'état (Peterson et Fry, 1987). Ainsi il a été possible de déterminer différents types de fractionnements isotopiques :

- le fractionnement isotopique à l'équilibre : l'équilibre isotopique s'opère au cours d'une réaction chimique, dont les molécules, une fois à l'équilibre chimique ne réagissent plus entre elles, mais dont les isotopes peuvent encore s'échanger, jusqu'à atteindre l'équilibre isotopique comme l'indique l'exemple suivant : $\text{Si}^{18}\text{O}_2 + 2\text{H}_2^{16}\text{O} \rightleftharpoons \text{Si}^{16}\text{O}_2 + 2\text{H}_2^{18}\text{O}$ (Allègre et Michard, 1973 ; p. 159). L'équilibre isotopique se caractérise par une constante d'équilibre isotopique (appelée K) et un facteur de fractionnement isotopique (appelé α). Ce processus s'applique également lors d'un changement d'état.
- Le fractionnement cinétique : il se produit lors des processus physico-chimiques (Ader, 1999). Les molécules ne possédant pas la même masse selon les isotopes qui les composent, leurs vitesses de réaction seront donc différentes.

Dans le cadre des réactions chimiques liées aux processus biologiques du métabolisme, les temps de réactions sont suffisamment longs pour que l'équilibre isotopique soit atteint.

3 - Abondances isotopiques du carbone

a. Le carbone chez les végétaux

Des recherches se sont développées à partir des premiers travaux de Calvin (1961) et Libby et collaborateurs (1964) sur les isotopes du carbone et la photosynthèse des végétaux. Chez les végétaux, la physiologie et l'environnement sont les principaux facteurs influençant les valeurs isotopiques. Selon le type de photosynthèse (C_4 , C_3 ou CAM), le fractionnement isotopique est différent, modifiant la valeur du $\delta^{13}\text{C}$ (Fig. 5).

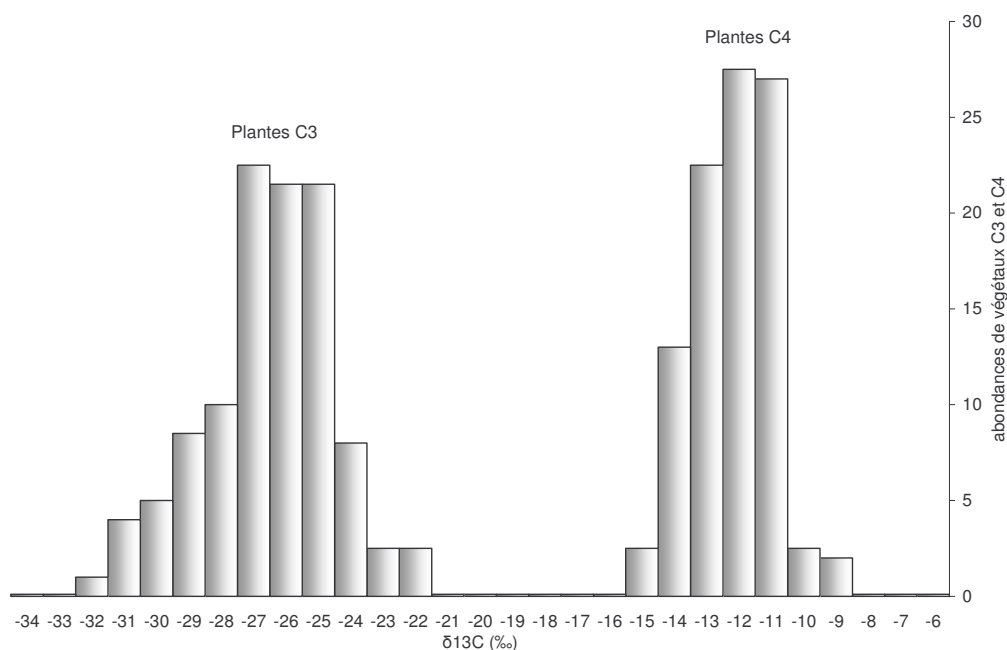


Fig. 5. Bimodalité des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ mesurées sur des végétaux, correspondant à des photosynthèses C₃ et C₄ (d'après Deines, 1980)

a.1 Les végétaux terrestres

Lorsqu'un végétal réalise la photosynthèse, les éléments les plus légers sont préférentiellement incorporés dans la matière synthétisée. Ainsi, le $^{12}\text{CO}_2$ entre en jeu plus facilement dans les réactions photosynthétiques et le $^{13}\text{CO}_2$ est délaissé dans l'atmosphère (on parle d'enrichissement de l'atmosphère en ^{13}C). Le $\delta^{13}\text{C}$ du CO_2 atmosphérique est d'environ -7,7 ‰ (DeNiro, 1987 ; van der Merwe, 1989). Les végétaux à photosynthèse C₃ ("Calvin-Benson Pathway") ont été les premiers étudiés (van der Merwe, 1982). Lors de la photosynthèse, ils forment un premier composé à trois atomes de carbone (acide phosphoglycérique). Ils ont des $\delta^{13}\text{C}$ compris entre -34,0 ‰ et -22,0 ‰ (avec une valeur modale à -27,0 ‰), variant selon l'environnement local (Smith et Epstein, 1971 ; Fizet *et al.*, 1995 ; Lee-Thorp et Sponheimer, 2000). Ces végétaux de type C₃ représentent 90 % des végétaux actuels présents en Europe tempérée (Hoefs, 1997). Les mousses, hépatiques et lichens, qui réalisent également une photosynthèse de type C₃ ont des $\delta^{13}\text{C}$ compris entre -37,5 ‰ et -21,3 ‰ (Farquhar *et al.*, 1989a).

Les végétaux à photosynthèse C₄ ("Hatch-Slack pathway") sont adaptés aux régions chaudes et à fort ensoleillement ; ce sont principalement des espèces herbacées de milieu tropical (attestées en France dès le Néolithique final pour le millet, *Panicum miliaceum*) (Marinval, 1988). Les premiers travaux sur ce mode de photosynthèse ont été réalisés sur la canne à sucre (van der Merwe, 1982), montrant que la fixation du CO_2 conduit en premier lieu à une molécule à quatre atomes de carbone (oxaloacétate). Ces végétaux ont un $\delta^{13}\text{C}$ plus élevé que celui des

espèces de type C₃ (différence d'environ 14 ‰), compris entre -19,0 ‰ et -6,0 ‰ (avec une valeur modale à -12,5 ‰) (Smith et Epstein, 1971). Les végétaux CAM (Métabolisme Acide des Crassulacées), réalisent tantôt une photosynthèse de type C₄, tantôt de type C₃ (Farquhar *et al.*, 1989a) ; leur $\delta^{13}\text{C}$ s'étend ainsi dans des valeurs intermédiaires de celles des végétaux C₃ et C₄ (Deines, 1980).

Ajoutons enfin que différentes parties anatomiques d'un végétal (feuille, tige, racine) peuvent avoir un $\delta^{13}\text{C}$ différent (Tieszen et Boutton, 1998 ; Heaton, 1999). Par exemple, l'étude de Tieszen et Boutton (1998) sur plusieurs espèces végétales (C₄) signale une différence de $\delta^{13}\text{C}$ entre la feuille et l'inflorescence pouvant aller jusqu'à 1,3 ‰ et entre la feuille et la racine pouvant aller jusqu'à 1,5 ‰.

a.2 Les végétaux aquatiques

En milieu aquatique, la majeure partie du carbone provient de la dissolution du CO₂ atmosphérique en surface de l'eau. Les végétaux marins (algues planctoniques, macro-algues et végétaux supérieurs) utilisent le bicarbonate dissout (HCO₃⁻) dont le $\delta^{13}\text{C}$ est proche de 0 ‰. La différence de 7,0 ‰ entre les valeurs isotopiques du CO₂ atmosphérique et le bicarbonate dissout est due à un fractionnement thermodynamique à l'équilibre (*cf.* § 2-C) (Albarède, 2001). Elle permet de distinguer principalement les végétaux marins des végétaux terrestres à photosynthèse C₃. Les $\delta^{13}\text{C}$ de ces végétaux s'étendent entre -39,0 ‰ et -3,0 ‰ (Smith et Epstein, 1971 ; Peterson et Fry, 1987 ; Lepoint *et al.*, 2004).

Le carbone utilisé par les végétaux d'eau douce peut provenir de différentes sources : CO₂ atmosphérique dissout, dissolution des roches calcaires, dégradation de la matière organique (phénomène respiratoire). Ces sources ont des $\delta^{13}\text{C}$ différents. Ainsi, le $\delta^{13}\text{C}$ de ces végétaux dépend, d'une part, de l'abondance relative de ces différentes sources, et d'autre part, de la nature et de la taille du milieu d'eau douce concerné (Katzenberg et Weber, 1999 ; Leng *et al.*, 2006). En effet, dans les lacs de grandes tailles et dans les océans, le CO₂ atmosphérique dissout représente la principale source de carbone ; dans les lacs de petites tailles en revanche, la dégradation de la matière organique, appauvrie en ¹³C, aura un effet proportionnellement plus marqué (Dufour *et al.*, 1999). La consommation des ressources issues du milieu dulcicole chez des populations archéologiques a pu être suggérée par les valeurs isotopiques du carbone du collagène osseux de ces consommateurs qui sont généralement inférieures à celles de consommateurs de ressources terrestres (Lillie et Richards, 2000 ; Iacumin *et al.*, 2004).

a.3 Modification du $\delta^{13}\text{C}$ par les facteurs environnementaux

La teneur relative en ^{13}C de la matière synthétisée par le végétal peut être modifiée suivant plusieurs paramètres environnementaux (Deines, 1980 ; Tieszen, 1991) : la température (Farquhar *et al.*, 1989a), l'éclairement (Farquhar *et al.*, 1989a), l'hygrométrie (Farquhar *et al.*, 1989a ; 1989b), la concentration extérieure en CO_2 (Farquhar *et al.*, 1989a), la salinité des sols (Greenway et Munns, 1980 ; Seemann et Sharkey, 1986). Ces facteurs vont agir sur les stomates (ouverture ou fermeture) (Campbell, 1995). Une forte température et une faible hygrométrie sont par exemple des facteurs favorisant un stress hydrique chez le végétal, responsable de la fermeture des stomates. Ainsi, le flux de CO_2 atmosphérique entrant est réduit, la pression intercellulaire de CO_2 diminue (utilisé pour la photosynthèse) et le $\delta^{13}\text{C}$ augmente (Farquhar et Sharkey, 1982 ; Farquhar *et al.*, 1989b). L'éclairement (intensité et qualité radiative de la lumière) favorise également l'ouverture des stomates (Campbell, 1995).

Des différences géographiques de $\delta^{13}\text{C}$ ont été mises en évidence par les travaux de van Klinken et collaborateurs (1994). Ces auteurs ont montré, à travers l'analyse de plus de 2000 échantillons de bois et charbons, qu'il existe une forte corrélation entre les facteurs climatiques (hygrométrie atmosphérique, précipitations, ensoleillement) et les fractionnements isotopiques du carbone chez les végétaux, à travers l'Europe et le Moyen-Orient. En effet, la variation du $\delta^{13}\text{C}$ sur des échantillons de bois peut aller de -27,5 ‰ au Royaume-Uni à -23,8 ‰ sur la côte levantine (*ibid.*). La différence de moyenne observée (3,7 ‰) entre ces deux zones géographiques représente 13 % du $\delta^{13}\text{C}$ enregistré au Royaume-Uni. L'analyse du collagène d'échantillons osseux⁵, originaires de différents pays, reflète ces variations : de -21,3 ‰ en moyenne en Irlande à -18,9 ‰ en moyenne en Espagne (*ibid.*). Les différences géographiques observées sont dues à des différences de paramètres naturels, telles que la température et l'hygrométrie.

Température

Il existe naturellement des variations géographiques en $\delta^{13}\text{C}$ du CO_2 , notamment entre l'air marin et l'air continental, mais également en fonction de la latitude et des saisons (Keeling, 1961 ; Leavitt et Long, 1982 ; Stuiver et Brazunias, 1987 ; Heaton, 1999 ; van Klinken *et al.*, 2000). Les changements de température au cours des saisons peuvent entraîner des modifications du $\delta^{13}\text{C}$ des végétaux (à photosynthèse C_3), avec une amplitude de 3 ‰ à 4 ‰ ; ces différences sont toutefois moins importantes que celles observées entre les végétaux C_3 et C_4 (Lowdon et Dyck, 1974 ; Leavitt et Long, 1982).

⁵ L'étude ne précise pas si ces échantillons proviennent d'animaux et/ou d'humain et si leur régime alimentaire est identique dans toutes les régions. Néanmoins, cette dernière modalité est impérative pour que la relation entre variations climatiques et variations du $\delta^{13}\text{C}$ osseux soit validée.

Stress hydrique

Les changements de température sont également susceptibles d'entraîner un stress hydrique qui va modifier le $\delta^{13}\text{C}$ des végétaux. En effet, les végétaux (à photosynthèse C_3) subissant un stress hydrique ont des $\delta^{13}\text{C}$ plus élevés (entre 3 et 12 ‰) que ceux qui en sont protégés (Farquhar *et al.*, 1989b ; Ambrose, 1993). L'étude effectuée par Ambrose (1993) sur le $\delta^{13}\text{C}$ d'arbres au Kenya le long d'un transect altitudinal illustre la relation entre la température, la quantité des précipitations et la variation du $\delta^{13}\text{C}$ chez les végétaux. En effet, les arbres soumis à une forte température et de faibles précipitations ont un $\delta^{13}\text{C}$ plus élevé ($\approx -22,0$ ‰) que ceux qui bénéficient de conditions moins sèches ($\approx -25,0$ ‰). Cette différence de moyenne, de 3 ‰, représente environ 12 % du $\delta^{13}\text{C}$ des arbres non soumis à un stress hydrique. Par conséquent, une période de sécheresse prononcée peut se répercuter le long de la chaîne trophique et donc sur les consommateurs.

« Effet canopée »

En 1952, Wickman met en évidence l'influence de l'effet canopée sur la composition en isotopes stables du carbone de végétaux de zones de sous-bois. Les principaux facteurs qui influencent la physiologie des végétaux et le fractionnement isotopique sont (1) l'intensité lumineuse moindre ainsi que la qualité radiative altérée dans les parties basses de la forêt (Farquhar *et al.*, 1989a) et (2) l'incorporation du CO_2 appauvri en ^{13}C au niveau du sol par le biais de la décomposition de la litière et de l'humus, et qui s'enrichit en ^{13}C par l'activité photosynthétique au fur et à mesure que l'altitude des feuillages augmente et que la concentration en CO_2 diminue (Farquhar *et al.*, 1989a). Ainsi, les végétaux de sous bois, qui utilisent ce CO_2 enrichi en ^{12}C , ont des $\delta^{13}\text{C}$ plus bas (de l'ordre de -28 ‰ à -35 ‰) que ceux des hauteurs, les feuilles de la canopée étant par conséquent les plus enrichies (Cerling *et al.*, 1991 ; van der Merwe et Medina, 1991). Des analyses réalisées sur des feuilles présentes à différentes altitudes de l'étage forestier ont montré que la différence de $\delta^{13}\text{C}$ entre le haut et le bas de la canopée peut atteindre 5,6 ‰ (Medina et Minchin, 1980). Ces résultats ont cependant été acquis dans des forêts tropicales et ne peuvent quantitativement pas être extrapolés aux forêts tempérées. Néanmoins, ce phénomène a été invoqué en zone tempérée pour expliquer les valeurs basses de $\delta^{13}\text{C}$ chez des herbivores fréquentant un milieu couvert (Balasse, 1999 ; Balasse *et al.*, 2000 ; Noe-Nygaard *et al.*, 2005). L'étude de Rodière et collaborateurs (1996), sur des chevreuils vivant en milieu forestier, et celle de Drucker et collaborateurs (2003), sur les restes osseux archéologiques d'herbivores (*Cervus elaphus*, Pléistocène, France), ont interprété l'observation de faibles $\delta^{13}\text{C}$ dans le collagène osseux de ces animaux comme étant le reflet soit d'une consommation assez importante de végétaux de sous-bois, soit de végétaux d'un couvert forestier dense (Drucker et Célérier, 2001). De cette manière, il est possible de mettre en évidence si la majeure partie des

protéines consommées par les populations humaines sont issues de milieux de forêt dense ou de milieux plus ouverts (van Klinken *et al.*, 2000).

L'ensemble des variations du $\delta^{13}\text{C}$ présentées sont importantes à prendre en compte car ces dernières se répercutent le long de la chaîne alimentaire et sont susceptibles d'être mises en évidence dans le collagène osseux des restes animaux et humains.

b. Le $\delta^{13}\text{C}$ le long de la chaîne trophique terrestre

Le $\delta^{13}\text{C}$ du collagène est essentiellement lié à celui des protéines ingérées (Ambrose et Norr, 1993). Il existe un enrichissement du $\delta^{13}\text{C}$ entre les protéines de l'alimentation et le collagène osseux, estimé à environ 5 ‰ (DeNiro et Epstein, 1978). Cet enrichissement est d'environ 2 à 3 ‰ entre le tissu musculaire d'un individu et son collagène (Sillen *et al.*, 1989 ; Tieszen et Fagre, 1993). L'enrichissement observé entre l'alimentation et le collagène est attribué au fait que le CO_2 expiré est appauvri en ^{13}C (DeNiro et Epstein, 1978 ; Hillaire-Marcel, 1986), mais également dû aux fractionnements isotopiques lors de la synthèse des acides aminés (DeNiro et Epstein, 1978 ; Ambrose et Norr, 1993).

Entre les différents niveaux de la chaîne trophique, la variation en $\delta^{13}\text{C}$ du collagène osseux est d'environ 1 ‰ (0,8 à 1,3 ‰) (DeNiro et Epstein, 1978 ; Ambrose et De Niro, 1989 ; Bocherens, 1997b ; Drucker et Bocherens, 2004). Ainsi, il est possible de distinguer un herbivore dont le collagène osseux est caractérisé par les valeurs isotopiques des végétaux qu'il consomme, d'un carnivore, qui a accumulé dans son collagène osseux la signature isotopique des viandes qu'il assimile (elles-mêmes enrichies en ^{13}C) (Fig. 6).

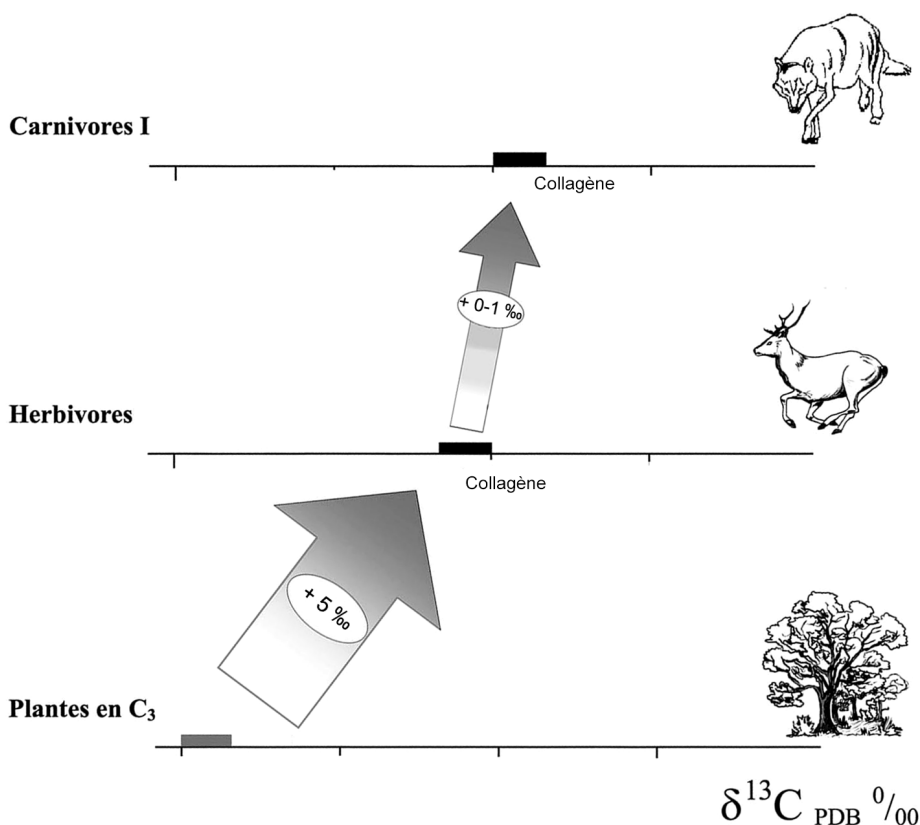


Fig. 6. Enregistrement en $\delta^{13}\text{C}$ dans le collagène des tissus osseux et dentaire le long de la chaîne trophique (d'après Bocherens, 1992 ; infographie B. Goude et M. Seurin).

c. Le $\delta^{13}\text{C}$ le long de la chaîne trophique marine

En milieu marin, les producteurs primaires ont en général des $\delta^{13}\text{C}$ plus élevés qu'en milieu terrestre (cf. § 3-a2.). Par conséquent, dans les réseaux trophiques marins, les consommateurs ont en général des $\delta^{13}\text{C}$ plus élevés que ceux de milieu terrestre ; de plus, la chaîne alimentaire marine est plus longue que la chaîne alimentaire terrestre. Plusieurs exemples montrent qu'il existe une relation entre la quantité moyenne de ressources marines consommées et le $\delta^{13}\text{C}$ du collagène (Tauber, 1981 ; Chisholm *et al.*, 1982; Norr, 1982). Dans un milieu où les végétaux à photosynthèse C_4 sont inexistant⁶, il est ainsi possible de proposer une estimation de la consommation de produits marins en fonction du $\delta^{13}\text{C}$ mesuré sur le collagène osseux des individus étudiés (Richards *et al.*, 2005) (l'écart de $\delta^{13}\text{C}$ peut aller jusqu'à 5 ‰ ; Tab. 2). Pour cela, il est indispensable de connaître les valeurs isotopiques moyennes des différents milieux (marin et terrestre) de la zone géographique étudiée (Ambrose *et al.*, 1997). Toutefois, même si

⁶ En effet, les $\delta^{13}\text{C}$ des végétaux à photosynthèse C_4 sont proches des $\delta^{13}\text{C}$ des ressources marines ; cf. § 3-a. Il n'est donc pas possible de distinguer ces deux types de ressources uniquement avec les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$.

les analyses montrent que les ressources marines ne sont pas consommées dans l'alimentation quotidienne, ces dernières ne sont pas à exclure à titre occasionnel.

$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Evaluation de la proportion des ressources marines contribuant aux protéines de l'alimentation
Population Viking du Greenland (Arreborg <i>et al.</i> , 1999)	
-19,0 ‰	20%
-14,0 ‰	80%
Population de Thompson River, British Columbia (Lovell <i>et al.</i> , 1986 ; Schwarcz, 1991)	
-17,3 ‰	40%
-16,4 ‰	50%
-15,7 ‰	60%
Population Mésolithique de Téviec et Hoëdic (Schulting et Richards, 2001)	
-16,5 ‰	50%
-15,5 ‰	60%
-14,5 ‰	70%
-13,6 ‰	80%
-13,2 ‰	> 80%

Tab. 2. Estimation de la participation des ressources marines à l'alimentation de populations archéologiques (écosystème sans plante C₄) en fonction du $\delta^{13}\text{C}$.

Dans les milieux où la présence de végétaux C₄ est attestée, se fonder uniquement sur les informations données par le carbone ne permet pas de voir les différences entre une alimentation à base de végétaux C₄ et une alimentation marine. Dans ce cas il faut l'apport des informations liées aux isotopes de l'azote et éventuellement du soufre (Richards *et al.*, 2001a). Concernant les zones arides, certains chercheurs proposent l'utilisation des $\delta^{13}\text{C}$ d'acides aminés essentiels et non essentiels pour voir si la majorité des protéines est issue des ressources marines ou des ressources terrestres C₄ (Corr *et al.*, 2005). D'après ces auteurs, la $\Delta^{13}\text{C}$ glycine-phenylalanine du collagène osseux augmente avec l'importance des protéines marines dans la diète.

d. Effet des préparations culinaires

Plusieurs études ont été réalisées sur les effets de la préparation des aliments sur leur $\delta^{13}\text{C}$ (Ambrose *et al.*, 1997 ; Katzenberg *et al.*, 2000 ; Drucker 2001). Les variations de $\delta^{13}\text{C}$ observées entre des végétaux crus et bouillis vont de 0 ‰ à 3,4 ‰ (par exemple le $\delta^{13}\text{C}$ moyen la patate douce crue est de -25,5 ‰ et celui de la patate douce bouillie est de -27,4 ‰ ; Ambrose *et al.*, 1997). Sur les aliments carnés, les variations moyennes entre le cru et le cuit, observées par Drucker (2001), vont de -2,1 ‰ à 0,5 ‰. Dans cette dernière étude, les amplitudes les plus importantes sont celles des viandes grillées. En effet, le $\delta^{13}\text{C}$ moyen de saumons crus par exemple est de -19,7 ‰ et celui de saumons grillés est de -21,8 ‰ (*ibid.*). Ces exemples de différence de moyennes de $\delta^{13}\text{C}$ (environ 2 ‰) représentent environ 9 % du $\delta^{13}\text{C}$ des aliments crus.

e. Modification récente du $\delta^{13}\text{C}$ de l'atmosphère

L'utilisation des rapports isotopiques du carbone des végétaux actuels, comme référence pour étudier le passé, doit prendre en compte l'impact des activités humaines développées depuis l'ère industrielle. En effet, une baisse du $\delta^{13}\text{C}$ du CO_2 (d'environ 1,4 ‰) a été observée dans l'atmosphère actuelle et cette diminution est due à l'augmentation de la teneur relative en ^{12}C dans notre atmosphère par le rejet de CO_2 issu de combustibles fossiles (dont le $\delta^{13}\text{C}$ est faible) des industries depuis 1850 : le $\delta^{13}\text{C}$ de l'atmosphère était de -6,5 ‰ en 1744 et en 1850, de -6,7 ‰ en 1956 et -7,9 ‰ en 1982 (Marino et McElroy, 1991). La différence de $\delta^{13}\text{C}$ de l'atmosphère entre 1744 et 1982 (1,4 ‰) représente environ 21 % du $\delta^{13}\text{C}$ atmosphérique pré-industriel. Cette diminution significative en $\delta^{13}\text{C}$ du CO_2 atmosphérique, appelée « effet fuel fossile », a également été mise en évidence par plusieurs recherches, telles que la comparaison entre des végétaux C_4 modernes et des végétaux du début de l'Holocène, et des études effectuées sur les cernes de bois d'arbres (Friedli *et al.*, 1986 ; Toolin et Eastoe, 1993 ; Cerling et Harris, 1999 ; Hedges, 2003).

Exemples de facteurs étudiés (références)	Variation de $\delta^{13}\text{C}$ enregistrée entre les échantillons subissant et ne subissant pas ces paramètres	Proportion de la variation du $\delta^{13}\text{C}$
Stress hydrique (Ambrose, 1993)	3 ‰	12 %
Variations climatiques et géographiques (van Klinken <i>et al.</i> , 1994)	3,7 ‰	13 %
Cuisson des végétaux (Ambrose <i>et al.</i> , 1997)	2 ‰	8 %
Cuisson de la viande (Drucker, 2001)	2 ‰	10 %
Effet fuel fossile	1,4 ‰	21 %

Tab. 3. Exemples de variation du $\delta^{13}\text{C}$ (‰) entre des échantillons ayant été influencés ou non par des facteurs naturels ou anthropiques et proportion de la variation de $\delta^{13}\text{C}$.

L'influence des différents facteurs pouvant modifier le $\delta^{13}\text{C}$ est variable (Tab. 3), mais importante en ce qui concerne notre étude car elles se répercutent sur les consommateurs.

f. Consommation de ressources marines et datations radiocarbone

Depuis quelques années, les analyses isotopiques du carbone des restes osseux apportent de nouvelles sources d'information. Constatant des datations radiocarbone aberrantes, des études ont mis en relation ces dernières avec la présence d'une proportion importante de ressources marines dans l'alimentation des individus (Cook *et al.*, 2001 ; Cook *et al.*, 2002 ; Bonsall *et al.*, 2004). L'explication est inhérente au vieillissement du carbone dans les fonds océaniques : d'une part une grande partie du CO_2 dissout transite longtemps en profondeur *via* la circulation thermohaline, d'autre part une partie du carbone des sédiments océaniques (appauvris en ^{14}C) est remise

en circulation. Ce carbone vieilli est utilisé par des organismes, puis il se retrouve le long de la chaîne alimentaire dans les ressources marines, et par conséquent chez leurs consommateurs. Ainsi, le carbone daté est plus vieux que l'individu lui-même (variant en fonction de la quantité de ressources marines consommées, mais variant également dans l'écosystème marin en fonction de l'époque et de la géographie). L'étude des rapports isotopiques du carbone dans le collagène osseux et l'estimation des proportions de ressources marines consommées permettent des corrections d'âge BP dans les sites archéologiques, à condition que l'effet réservoir soit connu, et ainsi de reprendre les interprétations initialement proposées (Richards *et al.*, 2003c). Ce phénomène peut être également observé dans les milieux d'eau douce (Cook *et al.*, 2001 ; Cook *et al.*, 2002). Pour les échantillons de notre étude, nous avons choisi d'extraire le collagène et d'attendre les résultats isotopiques avant d'envoyer le matériau que nous souhaitons dater aux laboratoires de datation, afin de voir si des ressources marines ont été consommées et si nos échantillons risquent d'être vieillis.

4 - Abondances isotopiques de l'azote

a. L'azote chez les végétaux

a.1 Les végétaux terrestres non-fixateurs d'azote

Au sein des végétaux, le $\delta^{15}\text{N}$ dépend de la source d'azote utilisée. Chez les végétaux non fixateur d'azote, la source azotée est celle du sol, dans lequel la forme organique prédomine à 95 % (Mariotti, 1982). De fait, le $\delta^{15}\text{N}$ de ces végétaux dépend de celui des sols dans lesquels l'azote est puisé (Handley et Raven, 1992). L'apport de l'azote minéral aux végétaux non-fixateurs, se fait à l'aide de bactéries libres qui dégradent la matière organique pour former de l'ammoniac et des nitrates ; les taux de ^{15}N y sont plus élevés que dans l'atmosphère (Letolle, 1980). Le $\delta^{15}\text{N}$ de ces végétaux est généralement compris entre 0,0 ‰ et 6,0 ‰ (Schoeninger et DeNiro, 1984).

a.2 Les végétaux terrestres fixateurs d'azote

Les légumineuses et les lichens sont des espèces particulières car, en plus de fixer l'azote du sol, elles captent l'azote atmosphérique à l'aide de bactéries symbiotiques (Mariotti, 1982 ; Faurie *et al.*, 1998). Ces symbiontes sont (1) appauvries en ^{15}N , d'environ 1,0 ‰, lors de l'assimilation directe du N_2 de l'atmosphère qui favorise l'isotope le plus léger (^{14}N) et (2) légèrement enrichies lors de l'absorption de l'azote du sol (Letolle, 1980 ; Mariotti, 1982 ; Virginia et Delwiche, 1982). Ainsi, ces espèces particulières ont un $\delta^{15}\text{N}$ généralement plus faible que les espèces non fixatrices d'azote (entre les végétaux C_3 et C_4 il n'y a pas de différences

significatives concernant le $\delta^{15}\text{N}$). Cependant, ces différences (entre espèces fixatrices d'azote et non fixatrices d'azote) sont moins discriminantes si les sols contiennent peu d'azote, tels que les sols acides (*cf.* § b) (Mariotti, 1982 ; Virginia et Delwiche, 1982 ; Rodière *et al.*, 1996 ; Lacoste et Salanon, 1999). Le $\delta^{15}\text{N}$ des espèces fixatrices d'azote est généralement compris entre -1,0 ‰ et 3,0 ‰ (Schoeninger et DeNiro, 1984).

a.3 Les végétaux aquatiques

Dans les écosystèmes aquatiques, les végétaux supérieurs et les algues, dont les cyanobactéries, sont les producteurs primaires. Les cyanobactéries utilisent l'azote atmosphérique dissout dans le milieu aquatique, dont le $\delta^{15}\text{N}$ est enrichi de 0,1 ‰ par le fait d'un fractionnement isotopique à l'équilibre (Mariotti, 1982 ; Lévêque, 2001). Leur $\delta^{15}\text{N}$ est généralement aux alentours de 0 ‰ (Schoeninger et DeNiro, 1984). Les végétaux aquatiques qui ne fixent pas l'azote atmosphérique utilisent le nitrate et l'ammonium dissout. Ainsi, les taux de ^{15}N varient selon les conditions locales du milieu aquatique (DeNiro, 1987). En général, les végétaux aquatiques ont un taux de ^{15}N (proche de 7,0 ‰) supérieur d'environ 4,0 ‰ par rapport aux végétaux terrestres non fixateurs, puisque leurs sources de nitrates ont des compositions isotopiques plus élevées (Ambrose, 1993).

b. Facteurs de modifications du $\delta^{15}\text{N}$ chez les végétaux

Les conditions extérieures

La dénitrification du sol, induite par la sécheresse et une forte température (ou par certaines bactéries) augmente le $\delta^{15}\text{N}$ des végétaux (Ambrose, 1991 ; 1998). En effet, le NH_3 qui s'évapore de la solution de NH_4^+ du sol est appauvri en azote-15, ainsi la solution initiale en sera enrichie (Letolle, 1980). Le froid et l'humidité, au contraire, provoquent une fixation du ^{14}N , qui s'évapore moins, entraînant une baisse du $\delta^{15}\text{N}$ (*ibid.*). De même, il existe une différence de $\delta^{15}\text{N}$ entre les végétaux, non fixateurs, poussant l'intérieur des terres et ceux poussant en bord de mer. Ces derniers bénéficient de l'azote contenu dans l'eau des embruns marins et par conséquent leur $\delta^{15}\text{N}$ est plus élevé que ceux de l'intérieur des terres (Virginia et Delwiche, 1982) ; cette observation est issue de l'étude de végétaux sur un transect d'environ 8 km effectué en Californie où la diminution du $\delta^{15}\text{N}$ entre la côte et l'intérieur des terres est inférieur à 1 ‰.

L'altitude

Le $\delta^{15}\text{N}$ peut varier selon la place des végétaux dans la forêt (sous-bois ou en hauteur). Peut-on parler ici « d'effet canopée » ? En effet, des études ont mis en évidence des relations entre la baisse des $\delta^{15}\text{N}$ et la hauteur des végétaux analysés dans un milieu fermé. La variation enregistrée par l'étude de $\delta^{15}\text{N}$ de végétaux au Kenya en fonction de l'élévation est d'environ 4 ‰ (Ambrose, 1993). Ces variations sont dues à une intensité de fixation de l'azote plus importante sous la canopée (Ambrose, 1993 ; Heaton *et al.*, 1997).

Les conditions édaphiques

Le $\delta^{15}\text{N}$ des végétaux varie également en fonction du pH du sol. Dans son étude sur les chevreuils, Rodière (1995) constate chez ces animaux des valeurs isotopiques de l'azote faibles (-2,4 ‰ à -0,4 ‰), mais également chez les végétaux qu'ils consomment (-9,0 ‰ à -2,4 ‰). Ces résultats sont en effet plus faibles que les $\delta^{15}\text{N}$ enregistrés par Bocherens et collaborateurs (2005 ; 2006) sur des chevreuils de région européenne (environ 6,2 ‰ \pm 0,5). Les faibles $\delta^{15}\text{N}$ observés chez les végétaux dans l'étude de Rodière (1995) ont été mis en relation avec l'acidité et la concentration en azote des sols (*e.g.* forêt de conifères, sols où poussent des légumineuses) (Mariotti *et al.*, 1980 ; Handley et Raven, 1992 ; Rodière *et al.*, 1996) qui sont positivement corrélées au $\delta^{15}\text{N}$ (Garten, 1993 ; Dawson *et al.*, 2002). Par ailleurs, il existe un gradient du $\delta^{15}\text{N}$ dans le sol en fonction de la profondeur (le $\delta^{15}\text{N}$ augmentant avec cette dernière). Ainsi, les végétaux peuvent avoir, selon la taille de leur racine, une valeur isotopique de l'azote différente (Handley et Raven, 1992 ; Dawson *et al.*, 2002) ; toutefois, cette relation n'a pas toujours été vérifiée (Handley et Raven, 1992).

Modifications anthropiques récentes

Contrairement au carbone, la composition isotopique de l'azote atmosphérique n'a pas changé au cours du temps (DeNiro, 1987). Cependant le $\delta^{15}\text{N}$ des sols a varié en raison de l'utilisation de fertilisants naturels (déjections animales) et plus récemment synthétiques, dont le $\delta^{15}\text{N}$ est proche de 0 ‰ (DeNiro et Epstein, 1981 ; DeNiro, 1987). Ainsi, les végétaux actuels non fixateurs d'azote atmosphérique ont des $\delta^{15}\text{N}$ plus faibles que ceux des périodes préhistoriques.

c. Le $\delta^{15}\text{N}$ le long de la chaîne trophique terrestre

Il existe un enrichissement en $\delta^{15}\text{N}$ entre l'alimentation et l'ensemble du corps de 3,0 à 5,0 ‰ environ (1,7 à 6,9 ‰ ; DeNiro et Epstein, 1981) ; le $\delta^{15}\text{N}$ du collagène est équivalent à

celui du corps (Bocherens, 1994 ; Bocherens *et al.*, 1997a). Cet enrichissement, appelé également « effet trophique » (Minagawa et Wada, 1984), pourrait être le résultat de l'évacuation préférentielle du ^{14}N dans l'urée (Gannes *et al.*, 1998 ; Ambrose, 2000 ; Sponheimer *et al.*, 2003b ; Balter *et al.*, 2005). A chaque niveau de la chaîne trophique, on observe une augmentation de $\delta^{15}\text{N}$ du collagène osseux de 3,0 à 5,0 ‰ environ (Bocherens et Drucker, 2003; Hedges et Reynard, sous presse). Ainsi, le consommateur a un $\delta^{15}\text{N}$ du collagène osseux supérieur à celui de son alimentation (Fig. 7).

Chez les herbivores, le $\delta^{15}\text{N}$ des tissus peut refléter la quantité de protéines consommées par ces derniers. En effet, l'étude de Sponheimer et collaborateurs (2003a), réalisée dans le cadre d'une alimentation contrôlée⁷, a mis en évidence l'existence d'une augmentation du $\delta^{15}\text{N}$ (de + 1,5 ‰ à + 2,8 ‰) chez différents herbivores lorsque l'alimentation est enrichie de 10 % en protéines végétales. Face aux résultats de cette étude, les auteurs soulignent que les herbivores ont une $\Delta_{\text{alimentation-tissu}}$ plus importante lorsque l'alimentation est riche en protéines que lorsque l'alimentation est pauvre en protéines. L'explication de ce phénomène est inhérente aux proportions d'azote rejetées dans l'urine (appauvrie en ^{15}N) et les fèces (enrichies en ^{15}N), qui changent lorsque la proportion de protéines dans l'alimentation est modifiée (*ibid.*). Des différences de $\delta^{15}\text{N}$ ont également été observées entre des espèces de régime alimentaire similaire. Cette observation est valable principalement chez les herbivores dont les systèmes digestifs sont différents ; les ruminants ont un $\delta^{15}\text{N}$ plus élevé (pouvant atteindre 3,6 ‰ de plus) que les non-ruminants.

Chez les animaux omnivores, et plus particulièrement chez l'Homme, les ressources alimentaires sont très variées et peuvent provenir de différents niveaux de la chaîne trophique. Par conséquent, la place que l'individu occupe dans le réseau trophique est variable. Toutefois, la différence de niveau trophique entre deux individus omnivores, ayant une source carnée identique, mais dans des proportions différentes, n'est pas facile à établir (Hedges et Reynard, sous presse), excepté dans le cas de proportions extrêmes (Ambrose et Norr, 1993 ; Mays, 2000). Le collagène est essentiellement marqué par la signature isotopique de la source la plus fréquemment consommée et la plus riche en protéines. Le $\delta^{15}\text{N}$ plus élevé d'un individu par rapport à un autre indique généralement une consommation de protéines animales plus importante (O'Connell et Hedges, 1999). Les travaux de O'Connell et Hedges (1999) sur la kératine des cheveux ont montré qu'il existe une corrélation entre la quantité de protéines animales consommées et l'augmentation du $\delta^{15}\text{N}$ dans le tissu. Plus précisément, cette étude (O'Connell et Hedges, 1999) indique que la variation de $\delta^{15}\text{N}$ enregistrée au sein d'un régime alimentaire de type omnivore est de 1,6 ‰ (n = 14). Par ailleurs, ce travail souligne également

⁷ Expériences réalisées sur la kératine des poils des animaux.

que pour ce même régime, une variation de 1,2 ‰ est observée entre les individus consommant occasionnellement des protéines animales et ceux en consommant quotidiennement.

A partir de ces principes, les rapports isotopiques de l'azote ont été utilisés dans de nombreuses recherches archéologiques. Certaines de ces études ont pu mettre en évidence des variations alimentaires socio-culturelles par exemple (Schutkowski *et al.*, 1999 ; Privat *et al.*, 2002 ; Herrscher, 2003 ; Barrett et Richards, 2004 ; Le Hurray et Schutkowski, 2005 ; Müldner et Richards, 2005 ; Hedges et Reynard, sous presse). A l'inverse, les travaux réalisés par Jay et Richards (2005), ont montré que malgré des stratifications sociales possibles, la population archéologique de Wetwang Slack (Âge du Fer, Angleterre) partage un régime alimentaire, homogène et riche en protéines animales, quelque soit le sexe, l'âge et la richesse de la sépulture.

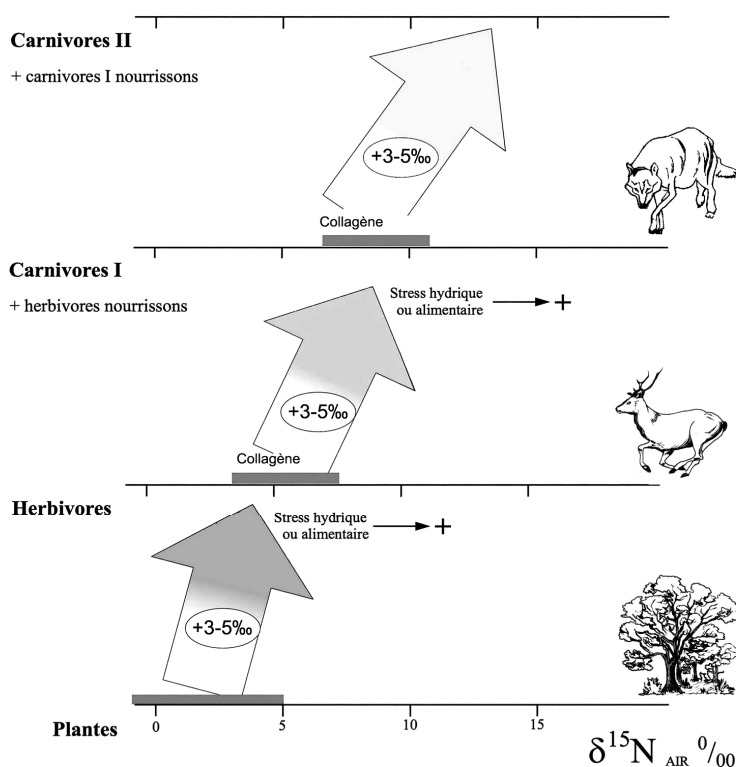


Fig. 7. Enregistrement en $\delta^{15}\text{N}$ dans le collagène du tissu osseux le long de la chaîne trophique (d'après Bocherens, 1992; infographie B. Goude et M. Seurin)

d. Le $\delta^{15}\text{N}$ le long des chaînes trophiques aquatiques

Dans les écosystèmes aquatiques, les $\delta^{15}\text{N}$ des végétaux sont plus élevés que ceux des écosystèmes terrestres (Virginia et Delwiche, 1982). Pour un même niveau trophique, les organismes aquatiques ont par conséquent des $\delta^{15}\text{N}$ supérieurs aux organismes terrestres. De plus, ces chaînes alimentaires comportent plus de maillons qu'en milieu terrestre. Ainsi, les populations humaines dépendantes des ressources marines ont un $\delta^{15}\text{N}$ élevé (selon la quantité de ressources aquatiques consommée) (DeNiro et Epstein, 1981 ; DeNiro et Schoeninger, 1983 ; Schoeninger et DeNiro, 1984 ; DeNiro, 1987).

e. Facteurs des modifications du $\delta^{15}\text{N}$ dans le collagène osseux

Cerner l'influence des facteurs de variabilité n'est pas aisé car il est difficile de connaître le taux de renouvellement, des tissus s'enrichissant en ^{15}N à la suite d'une carence alimentaire par exemple, ce taux étant contrôlé par des facteurs (vitesse de mobilisation des protéines et déamination des acides aminés dans le tissu ou dans un autre tissu) variables d'un individu à l'autre (Gannes *et al.*, 1998).

e.1 Stress hydrique et alimentaire

Plusieurs études ont montré que la teneur relative en ^{15}N augmente dans les tissus sous l'effet du stress hydrique (Sillen *et al.*, 1989 ; Ambrose, 1991 ; Ambrose, 2000 ; Ambrose *et al.*, 1997). L'augmentation des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ est (1) relative à l'intensité de ce stress (Bocherens *et al.*, 1997a ; Gröcke *et al.*, 1997 ; Ambrose, 2000) et (2) résulte d'une adaptation physiologique à la déshydratation en région aride (Ambrose et DeNiro, 1987 ; Sillen *et al.*, 1989 ; Drucker *et al.*, 2003). En effet, en milieu aride, les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ qui ont pu être enregistrées sur le collagène d'herbivores actuels sont en moyenne de 10,8 ‰, alors que dans la même région, mais dans une zone où les précipitations sont deux fois plus élevées, le $\delta^{15}\text{N}$ d'herbivores est en moyenne de 7,1 ‰ (Ambrose et DeNiro, 1986 ; Ambrose, 1991) ; soit une différence de 3,7 ‰. Des expériences contrôlées en laboratoire sur des rats soumettent l'hypothèse que l'urée excrétée par des animaux soumis au stress hydrique est enrichie en ^{14}N (Ambrose, 1991). Certains auteurs proposent également que ce phénomène est lié à la combinaison avec un stress alimentaire : la réduction de l'apport en protéines (Balter *et al.*, 2005). Le stress alimentaire peut effectivement être un facteur d'enrichissement des tissus en azote-15. L'étude de Hobson et collaborateurs (1993) a montré que chez certains oiseaux, les tissus formés en période d'incubation, accompagnée d'une perte de masse corporelle et d'un stress alimentaire, sont enrichis en azote-15. Dans cette étude expérimentale, le collagène osseux des animaux rationnés présente un $\delta^{15}\text{N}$ d'environ 9,0 ‰ ; en revanche, le collagène osseux de ceux dont l'alimentation n'a pas été modifiée enregistre un $\delta^{15}\text{N}$

d'environ 7,5 ‰ (*ibid.*) ; soit une différence de 2,5 ‰ qui représente 20 % du $\delta^{15}\text{N}$ enregistré dans le collagène osseux de l'individu dont l'alimentation n'est pas modifiée. L'hypothèse proposée pour expliquer ces résultats est le recyclage de l'azote des acides aminés du corps (enrichi en azote-15) lors des carences en protéines (Katzenberg et Lovell, 1999 ; Roth et Hobson, 2000). Ce phénomène a également été observé chez les mammifères lors de l'allaitement (Fogel *et al.*, 1989) et chez des femmes enceintes lors du premier trimestre de gestation (Fuller *et al.*, 2004 ; 2005). Dans cette dernière étude, les auteurs soulignent également que le retour à un équilibre physiologique après les premiers mois de grossesse provoque une baisse du $\delta^{15}\text{N}$. Cependant, il semble que ce schéma ne soit pas toujours applicable. En effet, les rats soumis à une sous-nutrition en protéines depuis leur sevrage présentent des problèmes de croissance mais pas de perte de masse corporelle ni d'enrichissement des tissus en azote-15 (Ambrose, 2000).

e.2 Effet de l'âge

L'âge de l'individu est susceptible de faire varier les compositions isotopiques. Les travaux de Roth et Hobson (2000) sur différents tissus animaux (carnivores) mettent en évidence un fractionnement isotopique en faveur du ^{15}N plus important chez les jeunes individus. Les différences de $\delta^{15}\text{N}$ entre les tissus (foie, muscle, fourrure) des jeunes et des adultes sont d'environ 0,3 ‰ (*ibid.*). Cette différence représente environ 3 % du $\delta^{15}\text{N}$ des adultes. D'après les auteurs, ces résultats peuvent être dus au phénomène de croissance, qui permettrait un catabolisme et une synthèse des protéines plus efficaces. Toutefois, l'étude d'Ambrose (2000) sur les rats indique qu'il existe une augmentation du $\delta^{15}\text{N}$ avec l'âge dans la kératine des poils (dans le cas d'une alimentation contrôlée à 5 % et 20 % de protéines). En revanche, ce phénomène n'est pas identique pour tous les tissus étudiés puisque l'auteur enregistre une diminution du $\delta^{15}\text{N}$ des muscles de ces mêmes animaux avec l'âge (dans le cas d'une alimentation contrôlée à 5 %, 20 % et 70 % de protéines). L'étude d'Ambrose (2000) souligne ainsi que **la relation entre l'alimentation, le $\delta^{15}\text{N}$ et l'âge de l'individu est complexe et varie selon les tissus analysés.**

Exemples de facteurs étudiés (références)	Variation de $\delta^{15}\text{N}$ enregistrée entre les échantillons Influencés ou non par ces paramètres	Proportion de la variation du $\delta^{15}\text{N}$
Sous-alimentation (Hobson <i>et al.</i> , 1993)	1,5 ‰	20 %
Âge (jeune-adulte) (Roth et Hobson, 2000)	0,3 ‰	3 %

Tab. 4. Exemples de variation du $\delta^{15}\text{N}$ (‰) entre des échantillons ayant été influencés ou non par différents facteurs et proportion de la variation de $\delta^{15}\text{N}$.

L'importance de variations présentées dans les différents exemples est variable (exemples dans le tableau 4) selon les facteurs écologiques et physiologiques mis en cause. Ces dernières ne doivent pas être écartées de l'interprétation des analyses isotopiques, sachant toutefois que ce sont des phénomènes plurifactoriels qu'il faut prendre en compte.

f. Les cas de l'allaitement et du sevrage

Les variations du $\delta^{15}\text{N}$ existent aussi chez un même individu, à savoir entre les dents et les os par l'enregistrement du signal lacté (Balasse *et al.*, 1997 ; Herrscher, 2003) et entre les os par des différences de croissance et de remaniement osseux (Fizet *et al.*, 1995). En effet, au cours de la vie d'un individu, les périodes de l'allaitement et du sevrage sont particulières et marquent le collagène osseux de $\delta^{15}\text{N}$ spécifiques. Lors de l'allaitement, l'individu consomme le lait de sa mère ou de sa nourrice, mangeant ainsi sa propre espèce. Le jeune mammifère acquiert par conséquent des valeurs isotopiques d'un niveau trophique supérieur à celles de la l'allaitante. Au moment du sevrage, l'alimentation du jeune change de manière plus ou moins progressive vers le même type d'aliment que les adultes. Le signal des régimes alimentaires pré et post-sevrage est enregistré dans les ossements et les dents en pleine croissance. Ce signal s'effacera au cours du temps dans l'os par le biais du renouvellement tissulaire, mais est toujours présent dans les tissus dentaires formés durant ces périodes. Le sevrage, qui correspond à un changement de niveau trophique, sera caractérisé par une diminution de $\delta^{15}\text{N}$ dans les nouveaux tissus formés (Schurr, 1997). L'étude de tissus dentaires formés lors de périodes successives des premières années de la vie est donc particulièrement intéressante, peut permettre d'estimer l'âge au sevrage. Cette problématique a suscité de nombreuses études portant sur des périodes actuelles et passées, de groupes humains (DeNiro *et al.*, 1985 ; Fogel *et al.*, 1989 ; Herrscher, 2001; 2003) ou de faune (Balasse, 1999 ; Balasse *et al.*, 1999 ; Balasse *et al.*, 1997 ; Balasse *et al.*, 2000), qui ont mis en évidence des différences culturelles, sociales et économiques.

En résumé, les rapports isotopiques du **carbone** sont principalement utilisés pour reconstruire l'environnement des individus analysés ; ils nous renseignent sur le type de végétaux consommés et par conséquent sur le potentiel écologique du milieu. Les rapports isotopiques de l'**azote** permettent de replacer l'individu dans la chaîne trophique. L'association de ces deux éléments chimiques apportent diverses informations : consommation de ressources marines / consommation de ressources terrestres, consommation de ressources végétales / consommation carnée, ressources de milieu aride / ressources de milieu tempéré, ressource de milieu ouvert / ressources de milieu fermé (Fig. 8). Cependant, comme le précise Parkington (1991), afin de

d'interpréter le plus justement possible les analyses isotopiques et de comprendre les choix alimentaires des populations du passé, il est nécessaire de prendre en compte plusieurs points :

- connaître les ressources disponibles dans le passé et les valeurs isotopiques associées;
- comprendre les processus métaboliques qui transforment le signal isotopique de l'alimentation en signal isotopique mesurable dans le collagène de l'os ;
- et s'assurer d'une bonne précision analytique des mesures.

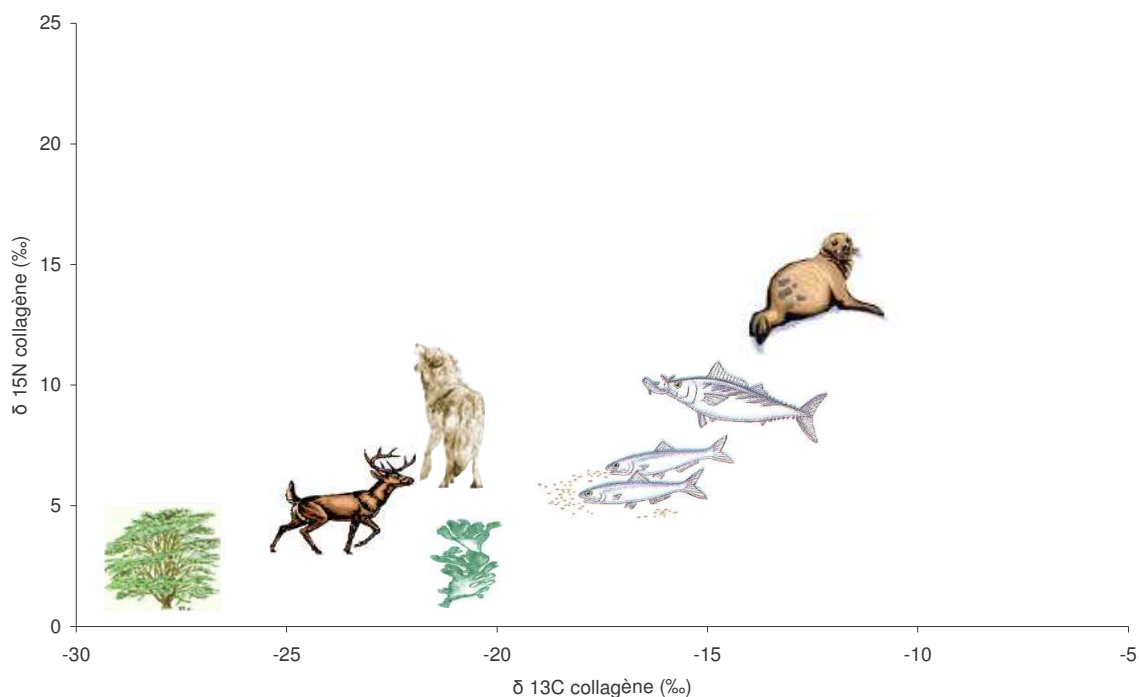


Fig. 8. Exemple de reconstitution d'écosystèmes de milieu tempéré (C₃) et marin par les δ¹³C et δ¹⁵N (infographie Le Bras-Goude d'après une compilation de données publiées).

5 - De l'importance d'étudier l'écosystème des populations

Les valeurs que l'on observe sur les animaux peuvent être variables d'un site à l'autre pour une même espèce (Pouydebat, 1997). Par exemple, des études qui mentionnent l'introduction de fourrage d'origine marine dans l'alimentation des animaux (Balasse *et al.*, 2005) et de fumier d'origine marine dans les champs (Milner *et al.*, 2003), mettent en évidence que les valeurs observées sur les végétaux cultivés et les animaux sont différentes de celles attendues d'un écosystème purement terrestre. Ces différences se répercuteront sur les consommateurs suivants de la chaîne alimentaire, ainsi des individus consommant des animaux terrestres pourront avoir des valeurs isotopiques identiques aux consommateurs de ressources marines (Schulting et Richards, 2002). Par conséquent, l'étude de l'alimentation protéinique

d'individus à l'intérieur d'un site archéologique et la comparaison entre plusieurs sites nécessitent de connaître au préalable les valeurs isotopiques des ressources environnantes, principalement de la faune de ces sites.

6- Déterminer la proportion des ressources consommées : des modèles

Des modèles mathématiques ont très tôt été utilisés pour tenter de déterminer la proportion de ressources potentiellement dominantes dans l'alimentation d'un individu (Chisholm *et al.*, 1982 ; Schwarcz, 1991 ; Ambrose, 1993). Ces approches se fondent sur le fait que plus un aliment prend une part importante dans l'alimentation plus sa contribution à la signature isotopique du consommateur est grande (Little et Little, 1997). Les sources alimentaires pour lesquelles les proportions sont déterminées doivent être isotopiquement distinctes (*e.g.* végétaux, viande d'herbivore, poisson) ; leurs valeurs isotopiques sont obtenues à partir des restes archéologiques ou leurs analogues actuels⁸. L'intérêt de l'utilisation des modèles est multiple et permet notamment de répondre aux questions qui nous préoccupent, c'est-à-dire comment la consommation d'une ressource varie d'un individu à l'autre dans une population ou entre des populations, en relation avec des facteurs biologiques, sociaux, géographiques ou culturels (Schwarcz, 1991).

Parmi ce type d'étude, le « Linear Mixing Model » (LMM) est utilisé, notamment par Schwarcz (1991), mais aussi par de nombreux auteurs en écologie (Little et Little, 1997 ; Phillips et Koch, 2002 ; Phillips et Gregg, 2003 ; Newsome *et al.*, 2004). Ce modèle prend en compte la relation qui existe entre le δ_{tissus} du consommateur, le $\delta_{\text{alimentation}}$ et le fractionnement isotopique entre ces derniers (Schwarcz, 1991), et il s'applique à partir d'équations qui impliquent la proportion des ressources (%) (ou bien de groupes de ressources similaires ; Little et Little, 1997) dans l'alimentation. Plus récemment l'utilisation du LMM a été améliorée en prenant en compte les proportions élémentaires présentes dans chaque type de ressources (Phillips, 2001 ; Phillips et Koch, 2002 ; Pearson *et al.*, 2003). En effet, les proportions de carbone et d'azote peuvent varier considérablement d'une ressource à l'autre, relativement à la composition en protéines, et la contribution de ces dernières aux valeurs isotopiques du collagène d'un consommateur ne s'effectue pas de la même manière (Ambrose et Norr, 1993 ; Phillips, 2001). Le LMM semble être actuellement le modèle le moins erroné établi (Phillips, 2001 ; Ben-David et Schell, 2001).

La précision de l'estimation proposée par ces modèles est limitée par différents facteurs : (1) la variabilité des valeurs isotopiques pour une même source, (2) l'influence de la diagenèse sur les valeurs isotopiques des restes archéologiques, (3) le fractionnement isotopique entre

⁸ En prenant compte des corrections nécessaires pour ces derniers. Corrections dues à l'effet fuel fossile pour le carbone et à l'utilisation de fertilisants chimiques, voire naturels (Bogaard *et al.*, 2007) pour l'azote.

l'alimentation et le tissu analysé et (4) la différenciation isotopique entre les sources analysées. Plus les sources sont proches, moins le modèle est précis (Schwarcz, 1991). Des réserves ont été émises quant à leur application car la méconnaissance de certains processus physiologiques (*e.g.* assimilation, digestibilité) ne leur permet pas d'être réellement fiables (Robbins *et al.*, 2002). Cette remarque est par ailleurs supportée par Richards et collaborateurs (2006), soulignant que son application à des écosystèmes anciens n'est pas appropriée. Des études de nutrition contrôlées testant plusieurs d'entre eux ont par ailleurs montré que leur utilisation permet d'obtenir des informations d'ordre général plutôt que des estimations précises (Ben-David *et al.*, 1997 ; Ben David et Schell, 2001).

L'application d'un tel modèle n'a pas été réalisée dans notre étude. En effet, l'analyse de ressources alimentaires isotopiquement très distinctes n'a pas été possible en raison, d'une part de l'absence ou de la rareté des restes de certaines espèces, notamment ichtyologiques, et d'autre part de la faible variation isotopique observée entre les différentes espèces étudiées (*i.e.* faune sauvage et domestique). Ce type d'étude est toutefois envisageable dans un travail ultérieur dans la mesure où de nouveaux échantillons archéologiques peuvent être acquis, ou bien si des échantillons actuels sont collectés.

7 - Intérêts et limites de la méthode

Appréhender l'alimentation des populations du passé à partir de l'étude des rapports en isotopes stables comporte, comme toute méthode, des intérêts et des limites :

- *Un complément des études archéozoologiques.* Si les restes osseux de faunes marines et terrestres retrouvés sur des sites archéologiques permettent de connaître les ressources consommées (le dépeçage est cependant susceptible d'être effectué sur d'autres lieux), ils ne peuvent pas en revanche, permettre d'appréhender le régime alimentaire d'un individu en particulier, à la différence de l'étude des isotopes stables ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) du collagène qui informent sur l'alimentation protéinique des dix dernières années⁹ de la vie d'un individu, sans en apprécier les modifications ponctuelles.
- *La nécessité d'un travail pluridisciplinaire.* Bien que différentes sources de protéines soient décelables par le biais de cette méthode, il n'est pas possible de faire la distinction, du point de vue isotopique ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$), entre les différentes protéines issues d'un même animal (lait, viande et fromage par exemple) (Minagawa, 1992 ; O'Connell et Hedges, 1999). Des études expérimentales sur les

⁹ Une moyenne de 10 ans environ est généralement prise en compte pour estimer un renouvellement complet des protéines de l'os (Ambrose, 1993 ; O'Connell et Hedges, 1999), mais ce renouvellement varie en fonction de nombreux paramètres (*cf.* B-2-d).

populations actuelles (O'Connell et Hedges, 1999) nous montrent qu'il est difficile, voire quasiment impossible, de distinguer un omnivore (mangeur de tous produits animaux) d'un ovo-lacto-végétarien (mangeur de produits dérivés de l'animal seulement comme le lait, les œufs, le beurre). Ainsi, les $\delta^{15}\text{N}$ et $\delta^{13}\text{C}$ des protéines des produits dérivés d'un animal sont identiques à celles de la viande de l'animal lui-même. Dans ce dernier cas, il est donc nécessaire de coupler les informations fournies par des études archéozoologiques qui, selon l'analyse des courbes d'abattage du cheptel, peuvent proposer des hypothèses d'une exploitation plus orientée vers la production de lait et de produits laitiers que vers la consommation de viande (Arbogast *et al.*, 1987 ; Tresset, 1990 ; Helmer, 1992 ; Balasse *et al.*, 1997). De plus, l'analyse de la partie protéique de l'alimentation dans le collagène ne reflète qu'une tendance des choix alimentaires des individus étudiés. En effet, comme le montrent les travaux d'Ambrose (Ambrose et Norr, 1993 ; Ambrose et Krigbaum, 2003), c'est la composition isotopique des ressources les plus riches en protéines qui sera essentiellement « marquée » dans le collagène. Il en est de même quant à la fréquence de consommation d'un produit au cours de l'année. L'étude de quelques sujets du Paléolithique supérieur, consommant manifestement une forte quantité de ressources marines, a montré qu'il est difficile de comprendre les stratégies de subsistance (Richards *et al.*, 2005). En effet la consommation intensive de protéines d'origines marines pendant un tiers de l'année pourraient être reflétée dans le collagène osseux de manière identique à la consommation journalière de 30 % de protéines de ces mêmes ressources. Le même problème se pose pour l'étude de sites néolithiques, où l'analyse du collagène osseux peut refléter une forte consommation de viande d'herbivore, mais les auteurs sont conscients de la similarité de ce résultat avec une consommation mixte de végétaux terrestres et de poissons (Dürrwächter *et al.*, 2006).

B – Les facteurs biologiques et archéologiques et leur intérêt dans la problématique

L'étude comparative des données isotopiques du collagène humain que nous proposons de réaliser pour les individus au sein de chaque site archéologique vise à mettre en évidence les corrélations possibles entre ces dernières et un ensemble de critères géographiques, culturels mais également des paramètres archéologiques et plus particulièrement biologiques. D'une part, l'objectif d'une telle comparaison est de percevoir le « niveau économique » d'une population et/ou d'individus au sein d'une population, et par conséquent d'appréhender d'éventuelles modifications des modes de subsistance au cours du temps. D'autre part, si elle existe, la corrélation entre les informations biologiques, les témoignages archéologiques, en particulier les pratiques funéraires d'une part, et les valeurs isotopiques d'autre part, va permettre d'aborder la question du « statut social » des sujets au sein des populations, en partant du postulat que ce dernier peut-être appréhendé à travers l'état sanitaire (Lillie, 1997 ; Danforth, 1999) et les pratiques funéraires (Binford, 1972) et tout en étant consciente des limites d'une telle approche (Renfrew et Bahn, 2000 ; Parker Pearson, 2003). Il existe un certain nombre de travaux qui abordent cette problématique et dans lesquels ces témoignages (archéologiques et biologiques) ont permis aux auteurs de discuter la question du statut d'un ou de plusieurs individus (*e.g.* Lillie, 1997). Dans son article *Nutrition and politics in Prehistory*, Danforth (1999) propose une synthèse qui souligne les nombreux cas archéologiques où l'alimentation, ou plutôt les différences alimentaires, semblent être au centre de stratifications sociales et économiques ; les arguments proposés sont le plus souvent d'ordre biologique (sexe, âge au décès) et dans quelque cas archéologiques (*e.g.* localisation et élaboration de la tombe).

Parmi les individus étudiés, certains nous ont fourni un ensemble de données biologiques qui peuvent être mises en relation avec les résultats isotopiques. Ces données sont : le sexe, l'âge au décès, la stature et des pathologies osseuses et dentaires. La majeure partie de ces informations provient des études réalisées par les anthropologues en charge de chaque collection, et les méthodes utilisées par ces derniers sont précisées au cours de la description des sites archéologiques. Prendre en compte ces paramètres est important pour notre problématique d'étude car ils sont susceptibles d'être corrélés à l'alimentation (Molnar, 1962 ; Huss-Ashmore *et al.*, 1982 ; Dobney et Brothwell, 1986 ; Watson, 1986 ; Lieverse, 1999 ; Hillson, 2001 ; Steckel *et al.*, 2002). Ainsi nous souhaitons mettre en évidence leurs liens éventuels avec la position des individus dans le niveau trophique. Dans le cas où une relation est établie, nous pourrions discuter de cet hypothétique déterminisme sur les choix alimentaires.

L'enregistrement des données anthropologiques est de qualité inégale selon les collections, d'une part en raison de l'état de conservation des ossements et d'autre part parce que la nature et la présence des pathologies sont variables d'une collection à l'autre. Le détail des données biologiques et le nombre d'individus sur lesquels elles ont été observées sont indiqués dans la présentation de chaque site archéologique ainsi qu'en annexe (annexe 20).

1- Le sexe, l'âge et la stature

a. Le sexe

La comparaison des hommes et des femmes à partir des données isotopiques est particulièrement intéressante car elle peut mettre en évidence des différences de choix alimentaires qui répondent à des facteurs sociaux. De nombreux exemples ethnologiques et sociologiques relatent des différences alimentaires entre les sexes (Meigs, 1997 ; Counihan, 1999) et reflètent un phénomène qui a probablement toujours existé quel que soit l'espace-temps considéré : « *Maleness and femaleness in all cultures are associated with specific foods, and rules often exist to control the consumption of those foods.* » (Counihan, 1999 ; p. 18). Par exemple, les différences alimentaires entre les sexes sont très présentes dans certaines populations « traditionnelles » actuelles, notamment en Afrique (Takeda et Sato, 1996) où certains aliments font parfois l'objet de « tabous » culturels ou religieux principalement à l'égard des femmes et des enfants (voir aussi de Lestrang, 1981).

Concernant les données isotopiques, les travaux de DeNiro et Schoeninger (1983) ont montré qu'il n'existe pas de différence significative de $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ entre les individus de sexe masculin et ceux de sexe féminin quand l'alimentation est identique. Par conséquent, lorsque des distinctions de valeurs isotopiques sont observées entre les sexes, elles peuvent être interprétées comme des différences de choix alimentaire. La consommation moins importante chez les femmes que chez les hommes de ressources riches en protéines est une hypothèse évoquée à plusieurs reprises sur les sites archéologiques de périodes historiques (e.g. White et Schwarcz, 1989 ; Polet *et al.*, 1994 ; Ambrose *et al.*, 2003 ; Herrscher, 2003 ; Richards *et al.*, 2003b ; Prowse *et al.*, 2005). Concernant le Néolithique, et plus particulièrement le site barcelonais de Bòbila Madurell, Subirà et Malgosa (1996) soulignent, par une étude sur les éléments traces, l'existence d'une différence de consommation carnée entre les hommes et les femmes. L'amplitude, les modalités et les motivations de ces distinctions alimentaires sont variables et surtout difficiles à cerner en ce qui concerne les périodes préhistoriques. Bien que la corrélation entre niveau économique d'une population et consommation de la viande ne soient pas toujours positive (Bouttonnet et Simier, 1995), le rôle et le symbole que peut avoir cet aliment par exemple au sein des communautés agropastorales, ne sont pas à négliger ; même si le peu d'indices

archéologiques ne permet pas pour le moment d'aller plus loin dans les hypothèses. Une autre hypothèse envisageable pour expliquer les différences alimentaires repose sur le phénomène d'exogamie, c'est-à-dire des unions mixtes entre des groupes humains éloignés (environnements potentiellement dissemblables ; sur cette question voir Lepage, 2003). Cette supposition a par ailleurs déjà été évoquée lors de l'observation de divergences de résultats isotopiques entre les hommes et les femmes sur plusieurs sites mésolithiques et néolithiques en Europe (Bonsall *et al.*, 1997 ; Boric *et al.*, 2004 ; Lillie et Richards, 2000 ; Schulting et Richards, 2001).

Concernant les sites étudiées, l'estimation du sexe, lorsqu'elle est possible, est effectuée à partir de l'étude morphologique et morphoscopique des restes osseux du bassin (les méthodes appliquées sont celles de Ferembach, 1979 et de Bruzek, 1992). Toutefois, une revue sur certaines collections, de l'estimation du sexe fondée sur la méthode de la Diagnose Sexuelle Probabiliste (DSP) (Murail *et al.*, 2005), aurait été pertinente pour notre étude. En effet, certains individus (sur le site du Crès notamment) n'ont pas pu être sexés de façon fiable. La DSP est particulièrement intéressante car elle permet de déterminer le sexe d'un individu avec une fiabilité supérieure à 95 %, à partir de 4 mesures. Malheureusement, l'état de conservation des coxaux disponibles est dans l'ensemble très mauvais et rend difficile, voire impossible, l'utilisation de critères métriques.

b. L'âge au décès

L'étude de l'âge au décès des sujets en fonction des données isotopiques est susceptible de nous apporter des informations d'ordre social. Peu d'études ont pu clairement mettre en relation l'âge au décès et les valeurs isotopiques du collagène. Les recherches d'Ambrose (2000) sur le rat ont montré une tendance à l'augmentation du $\delta^{15}\text{N}$ dans certains tissus avec l'âge ; hypothèse également évoquée pour une population médiévale dans laquelle des différences de $\delta^{15}\text{N}$ entre les adultes jeunes et les adultes plus âgés ont été mises en évidence (Herrscher, 2003). Par ailleurs, l'observation de l'augmentation avec l'âge du $\delta^{15}\text{N}$ dans une population féminine romaine (I-III^e siècles ap. J.-C.) a été interprétée par les auteurs comme un changement alimentaire au cours de la vie, probablement inhérent à l'évolution du statut social de l'individu (Prowse *et al.*, 2005). La même observation a été réalisée sur le site médiéval de Berinsfield (Angleterre), où les individus masculins âgés de plus de 30 ans ont des $\delta^{15}\text{N}$ plus élevés que les jeunes adultes (Privat *et al.*, 2002). Des exemples ethnologiques appuient également cette hypothèse. Par exemple, au Sénégal, dans certaines populations, le régime alimentaire des hommes âgés est privilégié par rapport à celui des enfants, des femmes et des jeunes adultes (de Garine *et al.*, 1996).

Toutefois, d'autres études n'ont pas noté de relation particulière entre le $\delta^{15}\text{N}$ et l'âge de l'individu (étude sur les oiseaux de Hobson et Clark, 1992 ; étude sur une population néolithique en Allemagne de Dürrwächter *et al.*, 2006) ou bien au contraire, un enrichissement en azote-15, des tissus par rapport à l'alimentation, plus important chez les individus jeunes que chez les sujets adultes (étude sur les renards de Roth et Hobson, 2000). L'ensemble de ces résultats indique que les relations entre les mécanismes physiologiques, l'alimentation et l'âge sont très complexes. Malgré cela, le travail de synthèse effectué par Prowse et collaborateurs (2005) sur les relations entre l'âge au décès et les résultats isotopiques de populations archéologiques, souligne que les différences entre les immatures et les adultes, quand elles sont observées, semblent davantage liées aux différences alimentaires qu'à des phénomènes biologiques.

L'estimation de l'âge au décès des enfants a été réalisée sur la plupart des séries étudiées¹⁰. Compte tenu du faible effectif par classe d'âge, ce sont les âges individuels qui ont été utilisés dans les traitements statistiques. En revanche, concernant les adultes nous avons choisi de revoir l'estimation de l'âge au décès qui a parfois été délaissée lors de plusieurs études de collections archéologiques, faute d'outils méthodologiques satisfaisants disponibles au moment où elles ont été effectuées. Sachant que les phénomènes de sénescence sont, d'une part, liés à des facteurs génétiques et, d'autre part, influencés par l'environnement, il est souvent difficile d'aborder cette question avec beaucoup de fiabilité et de précision (Schmitt, 2002). L'application d'une nouvelle méthode d'estimation de l'âge au décès des adultes, proposée par Schmitt (Schmitt et Broca, 2000 ; Schmitt, 2001 ; 2002 ; 2005), nous a paru pertinente compte tenu de sa fiabilité (80 %). Celle-ci est développée à partir de l'observation de la surface sacro-pelvienne iliaque et utilise un système de cotation ainsi qu'un calcul de probabilité, permettant de classer les individus étudiés selon des intervalles d'âge au décès fiables (*ibid.*). Quatre caractères sont cotés, puis les scores sont comparés au tableau de distribution de probabilités *a posteriori* (population de référence dont l'espérance de vie à la naissance est de 30 ans) proposé par Schmitt (annexe 6).

Le détail des observations et des résultats sur les coxaux d'individus adultes est présenté en annexe (annexe 7). Il faut également préciser que les résultats obtenus par cette méthode nous fournissent, pour la majorité des individus étudiés, des intervalles de classe d'âge relativement larges. Par conséquent, ce sont en général les classes d'âge 20-49 ans et > 50 ans qui sont prises en compte dans les études statistiques, et lorsque l'effectif le permet, les données comparées sont celles qui utilisent les classes d'âge < 50 ans et > 30 ans (ou > 40 ans). Bien entendu ce type de regroupement n'est pas la meilleure solution, compte tenu du risque de présence d'individus

¹⁰ les méthodes utilisées par les anthropologues sont celles de Moorrees *et al.*, 1963 et Ubelaker, 1978 à partir des restes dentaires, Stloukal et Hanáková, 1978 à partir de la longueur des os longs et Birkner, 1980 pour le stades de fusion des épiphyses.

d'âge similaire dans les deux groupes, mais il permet de travailler avec des effectifs moins dissemblables, ce qui n'est pas négligeable dans une analyse statistique.

c. La stature

Les modalités de croissance et la stature d'un individu adulte sont conditionnées par plusieurs facteurs génétiques et environnementaux. L'état sanitaire, le contexte socio-économique et particulièrement l'alimentation, contribuent de façon importante autant à la stature qu'au format d'un individu (Mafart, 1989 ; Polet et Orban, 2001) ; c'est d'ailleurs pour ces raisons que la relation entre le régime alimentaire et la stature est un sujet primordial aujourd'hui dans les études de veille sanitaire et épidémiologiques (Susanne, 1993 ; Ulijasnek, 2003). Une étude menée sur des populations actuelles des îles Cook a montré qu'il existe un accroissement de la taille au fil des générations qui s'effectue parallèlement à une évolution des modes de subsistance et plus particulièrement marquée par une augmentation des quantités de viande consommées (Ulijasnek, 2003). Le lien entre une consommation de ressources carnées et une stature élevée a également été mis en évidence dans plusieurs populations, comme par exemple chez des chasseurs-cueilleurs de Patagonie (Soto-Heim, 2001). Cette dernière étude signale en effet, que l'activité physique soutenue et la consommation importante de viande chez les enfants jouent un rôle majeur dans la détermination de leur taille adulte. Concernant les populations archéologiques, des liens entre la stature et les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ ont déjà été observés dans une population médiévale (St Laurent de Grenoble, France), au sein de laquelle les individus de petite taille possèdent les plus faibles $\delta^{15}\text{N}$, peut être en relation avec une alimentation moins riche en protéines animales, ou bien une origine géographique différente du reste de la population (Herrscher, 2003).

Etant donné les résultats d'analyse exposés ci-dessus, nous avons choisi de nous intéresser aux relations qui peuvent exister entre la stature des populations étudiées et les données isotopiques, notamment celles de l'azote, en relation avec la consommation de protéines animales. A travers cette analyse nous avons tenté de voir s'il existait des corrélations entre le $\delta^{15}\text{N}$ des individus et la stature estimée ; pour cela nous avons comparé les données isotopiques entre différents groupes de stature.

2- L'état sanitaire

L'état sanitaire est un indicateur qui peut être intéressant, lorsqu'il est pris en compte avec un contexte archéologique et biologique, pour appréhender le statut social d'un individu et/ou d'une population. L'étude de Valentin *et al.* (2006) est un exemple pertinent qui montre l'importance de prendre en compte le maximum d'informations sur l'état sanitaire, ici en

l'occurrence dentaire, dans l'objectif d'une comparaison avec les données isotopiques obtenues dans le collagène osseux d'individus humains. Ce travail a entre autres mis en évidence une similitude entre l'état sanitaire dentaire (fréquence élevée de caries, peu de résorptions alvéolaires, de tartre et d'usure dentaire) et les valeurs isotopiques (consommation de ressources cariogènes mais peu abrasives, en grande partie des végétaux terrestres consommés cuits), et souligne les relations entre l'alimentation, la documentation ethnohistorique, les pratiques funéraires et le statut social élevé (élite ?) de la population étudiée.

a. L'attrition dentaire et la carie

L'attrition dentaire est la perte de matière résultant principalement de la mastication (Smith, 1984). L'environnement et les facteurs génétiques (épaisseur et résistance de l'émail dentaire) influencent ce phénomène. L'alimentation et les modes de préparation culinaire, surtout lorsqu'il s'agit de ressources végétales, jouent également un rôle primordial dans l'attrition dentaire¹¹. Parmi les séries analysées, certaines études anthropologiques font mention de la présence d'attrition dentaire. Pour les séries qui ne nous ont pas fourni ces informations, il nous a paru intéressant d'observer l'importance de cette usure sur les individus dont le maxillaire et/ou la mandibule sont présents. Dans la mesure du possible, l'attrition a été cotée selon le système de Smith (1984), permettant d'évaluer son degré d'importance (annexe 5).

La carie est une pathologie qui se développe le plus souvent lorsque l'alimentation est riche en glucides, mais les facteurs génétiques et physiologiques (pH bucal et résistance de l'émail dentaire notamment) jouent également un rôle important (Smith, 1984). Il existe plusieurs types de caries qui se distinguent en fonction de leur localisation sur la dent. La carie présente sur la couronne dentaire peut se situer sur la partie occlusale, sur la partie mésiale ou distale de la couronne (à proximité de la jonction avec la dent voisine) et sur les autres surfaces de la couronne, particulièrement près de la gencive. La carie présente sur la surface de la racine dentaire est généralement une lésion qui apparaît avec la résorption alvéolaire (Hillson, 2001). L'enregistrement de lésions carieuses sur les restes archéologiques est un exercice qui nécessite quelque prudence (*ibid.*) puisque la présence d'autres pathologies dentaires peut masquer le phénomène (attrition dentaire, fracture de la dent *ante mortem*, présence de tartre).

Dans le cadre de notre étude, la présence d'attrition importante et de caries dentaires est comparée aux données isotopiques afin de voir si une relation est décelable entre ces pathologies et les $\delta^{15}\text{N}$ enregistrés. Par exemple, si la présence de ces pathologies venait à être révélée sur les individus dont le $\delta^{15}\text{N}$ est faible, voire très faible, nous pourrions alors évoquer l'hypothèse d'une

¹¹ En raison de la présence possible de grains minéraux (*e.g.* quartz) dans la mouture et de phytolithes dans les tissus végétaux.

consommation importante de légumineuse et/ou consommation peu importante de viande qui illustrerait alors une alimentation riche en protéines végétales. Toutefois les hypothèses proposées resteront prudentes car l'âge joue également un rôle très important sur l'attrition dentaire et les caries (Hillson, 2001). Ce premier facteur, s'il est connu, devra être pris en compte.

b. Le tartre et les maladies du parodonte

Le tartre correspond à un dépôt dentaire qui se forme en deux phases. Dans un premier temps, une plaque organique bactérienne se dépose et dans un second temps, cette plaque se minéralise rapidement par le dépôt de cristaux de phosphate de calcium (Lieverse, 1999). Il existe deux types de tartre qui diffèrent en fonction de leur localisation et de par leur composition. Le premier, supragingival, est localisé sur la couronne dentaire. Le second, subgingival, souvent associé à des parodontopathies, est situé sur la partie de la racine non recouverte par la gencive (Lieverse, 1999). La présence et le développement du tartre sont principalement dus au pH de la cavité buccale et à la présence de substances alcalines ; ils sont par conséquent, influencés par une composante génétique et/ou alimentaire (une alimentation riche en protéines par exemple réduit l'acidité de la salive ; Polet et Orban, 2001) ainsi que par l'hygiène dentaire (Lieverse, 1999). L'identification du tartre et l'évaluation de son importance sur les pièces archéologiques sont des informations primordiales pour évaluer l'état sanitaire et l'alimentation des individus. Concernant les séries qui n'ont pas encore fait l'objet d'une étude pathologique détaillée, nous avons choisi de regarder si le tartre est présent et avec quelle fréquence. Les stades de développement du tartre n'ont pas été cotés précisément comme le préconise la méthode décrite dans l'étude de Dobney et Brothwell (1986), compte tenu du caractère subjectif de l'aspect des zones atteintes par le tartre et de la difficulté de mesurer ou d'estimer son épaisseur sans détruire l'échantillon. Seules la présence ou l'absence sont reportées sur les quelques individus observés.

Les maladies du parodonte sont des pathologies qui affectent les tissus soutenant la dent, se caractérisant par des réactions inflammatoires (parodontopathies) et/ou des atteintes dégénératives du tissu osseux (parodontoses) (Lavigne et Molto, 1995). Les maladies du parodonte peuvent être liées au dépôt de tartre et à l'hygiène dentaire et nous renseignent sur l'alimentation. Des méthodes ont été établies afin de caractériser l'importance ou non du phénomène de parodontose, notamment par la mesure précise de la perte osseuse entre la jonction ciment-émail et le bord alvéolaire (Lavigne et Molto, 1995). La résorption osseuse a également fait l'objet d'indicateur d'âge au décès (Watson, 1986). Cependant, ce type de méthode n'est pas fiable compte tenu, d'une part, des problèmes taphonomiques souvent rencontrés sur les pièces archéologiques (fragmentation, attaque chimique), et d'autre part, du fait que la sénescence des tissus biologiques subit « l'influence de paramètres qui n'ont rien à voir avec l'âge » (Schmitt, 2001) (p. 43).

Dans ce travail, nous nous attacherons principalement à observer la présence ou l'absence de tartre et de maladies du parodonte potentiellement associées et à voir si la présence de ces pathologies peut être corrélée à des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ élevées. Si une relation est établie, nous pourrions alors étayer l'hypothèse d'une consommation importante de ressources animales, et plus particulièrement une consommation potentiellement importante de produits laitiers. Cette dernière hypothèse est très importante à tester dans le cadre de la période étudiée (cf. Chap I § A-5-c. et Chap. III § D. 3). Signalons toutefois, qu'à notre connaissance aucune étude spécifique n'a mis en relation la présence de problèmes parodontaux et/ou de tartre avec les valeurs isotopiques du collagène.

c. Marqueurs de stress non spécifique : hypoplasies de l'émail dentaire lignes de Harris et hyperostose poreuse

L'hypoplasie de l'émail dentaire correspond à une déficience de l'épaisseur de l'émail dentaire s'exprimant sous forme de dépressions horizontales (Goodman et Rose, 1990) ; ces dépressions sont visibles à l'oeil nu. Les lignes de Harris, lignes opaques situées sur les zones de croissance des os longs, sont visibles en radiographie et sur des os coupés (Huss-Ashmore *et al.*, 1982 ; Macchiarelli *et al.*, 1994). Les mécanismes de la formation de ces marqueurs ont fait l'objet de nombreux travaux, mais leur étiologie n'est pas précise (Huss-Ashmore *et al.*, 1982 ; Goodman et Rose, 1990). Ces marqueurs indiquent des perturbations de croissance qui peuvent être induites par différents stress, comme le stress nutritionnel (*e.g.* carences alimentaires), en particulier pour les hypoplasies (Goodman et Rose, 1990).

L'hyperostose poreuse, dont les *cribra orbitalia*, localisées dans la cavité orbitaire, est une lésion caractérisée par des porosités (Huss-Ashmore *et al.*, 1982 ; Aufderheide *et al.*, 1998 ; Wapler *et al.*, 2004). Les *cribra orbitalia* sont considérées comme un indicateur de stress biologique, dont l'une des causes possibles est une déficience en fer dans l'organisme (anémie), pouvant être liée à une mal- ou sous-nutrition (*e.g.* déficience en vitamine C) et/ou des inflammations (ostéites) (Huss-Ashmore *et al.*, 1982 ; Wapler *et al.*, 2004).

Au sein des populations que nous avons pu analyser, certains sujets présentent ces pathologies, notamment sur le site des Arene Candide et sur le site du Crès. Dans le cas où les valeurs isotopiques de ces individus se distinguent du reste de la population, et si leur $\delta^{15}\text{N}$ est particulièrement faible, l'hypothèse d'une relation entre stress alimentaire et pathologies peut être évoquée.

d. Suture métopique

La persistance de la suture métopique (*sutura frontalis* ou suture médio-frontale), après l'âge de 2 ans est un caractère discret hypostotic¹² (Crubézy *et al.*, 1999). Son expression tardive peut être liée à différents facteurs d'ordre génétique, bio-culturel et pathologique (*ibid.*). Ce dernier point nous intéresse particulièrement, car la persistance de la suture métopique peut être liée à des carences en fer, relevant peut-être d'une malnutrition (Stuart-Macadam, 1985).

La persistance d'une suture métopique a été signalée sur un sujet dans la population chasséenne du Crès. L'enregistrement du $\delta^{15}\text{N}$ de ces individus et leur comparaison avec ceux des autres membres de la population permettra de voir si cet individu avait une alimentation particulière, pauvre en protéines animales et probablement en fer. Si ce lien est avéré, il étayera l'hypothèse d'une relation possible entre le caractère pathologique (possible anémie) et la persistance de la suture métopique.

e. Les pathologies invalidantes

Dans les séries que nous avons analysées, des pathologies traumatiques et infectieuses ont été signalées par les études anthropologiques. Ces pathologies ne sont pas directement liées à l'alimentation¹³, même si dans certains cas elles peuvent résulter d'une malnutrition qui fragilise l'organisme. Par ailleurs, elles peuvent avoir des conséquences sur le comportement des populations au moment de l'acquisition des ressources et de leur partage. La découverte d'un cas de tuberculose sur le site des Arene Candide (Formicola *et al.*, 1987) est particulièrement pertinente pour tester ces hypothèses. Nous avons par conséquent, prêté attention aux individus présentant des pathologies susceptibles de diminuer leurs activités physiques (*e.g.* fractures). L'enregistrement de leur $\delta^{15}\text{N}$ et leur comparaison avec ceux des autres membres de la population permettra de voir si leur alimentation est spécifique. Cette étude peut apporter de nouvelles informations sur les relations sociales et la gestion des ressources au sein du groupe humain. Signalons toutefois, qu'à notre connaissance aucune étude n'a mis en relation la présence de pathologies invalidantes et les valeurs isotopiques du collagène.

¹² Variation anatomique qui n'est pas d'origine pathologique et qui correspond à une ossification incomplète ou à une persistance d'une morphologie immature (Crubézy *et al.*, 1999 ; Murail, 2005).

¹³ Excepté dans un cas particulier (*cf.* Chap III § D. 3).

3- Les pratiques funéraires

L'analyse comparative entre les données archéologiques et les données isotopiques repose en très grande partie sur l'étude du site Chasséen du Crès, à la fois riche en informations archéologiques et statistiquement intéressant par le nombre d'individus qui a pu être étudié. Malheureusement, les populations les plus anciennes ne peuvent pas être abordées sous cet angle en raison d'un déficit de données mais également compte tenu de l'homogénéité observée dans le mode d'inhumation. Pour cette période, il s'agit effectivement dans la majorité des cas, d'inhumations individuelles en fosse, plus ou moins bien définies lors des fouilles. Excepté dans le site très particulier de Fontbrégoua¹⁴, les inhumations sont primaires (Duday, 2005) en espace vide ou colmaté, avec ou sans mobilier et les défunts sont allongés sur le côté et en position contractée (membres inférieurs repliés). Les quelques éléments susceptibles d'être discutés sont ceux du mobilier, mais n'étant pas abondants dans les sépultures l'étude comparative est à prendre de manière anecdotique.

Les éléments de pratiques funéraires pris en compte dans cette étude dépendent de deux facteurs. Le premier est la disponibilité de l'information archéologique. Le deuxième est la relation entre le défunt et les éléments archéologiques présents : cette relation doit être directe ou supposée directe (*e.g.* objet directement lié au défunt et non dans le remplissage de la fosse, architecture de la tombe). Les informations qui nous ont paru pertinentes sont les suivantes : l'architecture funéraire (morphologie de la fosse et aménagements), le nombre de défunt par fosse, la localisation de l'aménagement funéraire, la position du défunt et le mobilier.

¹⁴ On ne peut considérer à juste titre sur ce site qu'il s'agit de sépultures. Ce point est détaillé dans l'étude du site (*cf.* chap. III).

C - Matériaux d'étude

1 - Introduction

Les os et les dents sont les matériaux privilégiés des études paléanthropologiques, même s'il est parfois possible, mais rare, de travailler sur d'autres tissus tels que les ongles, les cheveux ou bien la peau des momies par exemple. Il est par conséquent nécessaire de bien connaître les structures de ces tissus et plus particulièrement leur synthèse ainsi que les processus taphonomiques susceptibles de dégrader et de contaminer la matière que nous étudions. Les interprétations déduites des données ostéologiques et biochimiques en seront d'autant plus fiables.

2 - Le tissu osseux

a. Composition

L'os comporte deux phases : une minérale et une organique. *In vivo*, le tissu osseux, caractérisé par sa forte teneur en constituants minéraux, se compose de 70% de minéral, 20% de collagène, 8 % d'eau et 2 % de composants organiques non collagéniques (Klepinger, 1984) :

- La partie minérale est composée de phosphate de calcium (hydroxyapatite) qui contient des ions carbonates.
- La partie organique se compose de collagène et de protéines non collagéniques. Ces dernières représentent environ 10% de la matière organique de l'os : polypeptides, albumine, ostéocalcine et alpha-2HS-glycoprotéine (Williams *et al.*, 1995). La composition exacte de cette trame organique est très complexe. Elle est le résultat des modifications encourues par les fibres de collagène, la substance fondamentale (osséine ; Berthet, 2006) et les cellules du tissu conjonctif qui s'associent pour pouvoir fixer le calcium et le phosphore lors de la formation de l'os (Schapira, 1970).

La composition du tissu osseux varie selon les parties anatomiques, l'âge de l'individu et son état sanitaire. Avec l'âge, la quantité d'eau présente dans la matrice osseuse diminue alors que la minéralisation s'accroît. Toutefois, la variation de la quantité de matière organique au cours de la vie n'est pas connue (Williams *et al.*, 1995).

b. Les différents tissus osseux

L'os se compose de plusieurs tissus (Fig. 9) :

- le tissu compact qui forme les diaphyses des os longs,
- le tissu spongieux, présent dans les épiphyses des os longs qui compose la majeure partie des os tels que le coxal ou les vertèbres,
- le tissu cartilagineux qui se situe principalement au niveau des surfaces articulaires chez les individus matures.

L'os compact est dit lamellaire car il se compose principalement de fibrilles de collagène concentriques (lamelles) et de canaux vasculaires ; l'ensemble est nommé ostéon ou système de Havers (Fig. 9). Cette organisation est la plus fréquente dans l'ensemble du squelette.

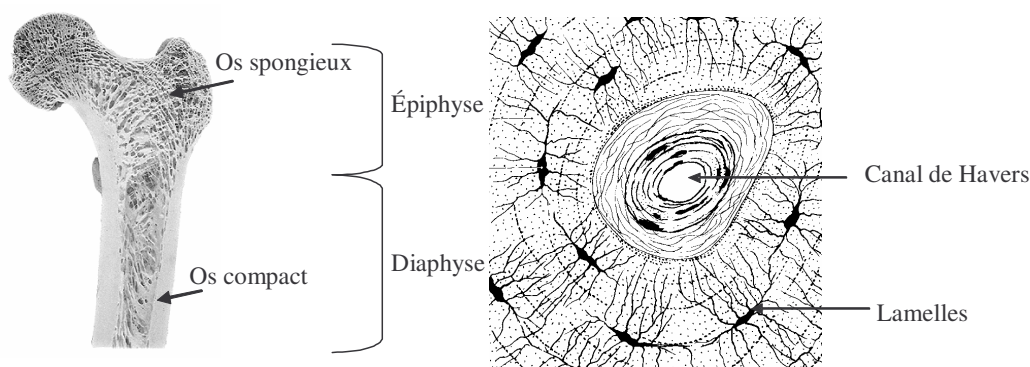


Fig. 9. Structure osseuse et système haversien (Platzer, 2001 ; Sobotta, 2002).

c. Ossification et croissance

Au niveau moléculaire, la formation du tissu osseux se réalise en deux temps : tout d'abord la matrice protéinique, indispensable à la constitution de l'os, est élaborée, ensuite la minéralisation par apposition de cristaux d'hydroxyapatite s'opère (Schapira, 1970). L'ossification et la croissance s'effectuent au cours de l'enfance en plusieurs étapes et diffèrent en fonction des parties anatomiques. La plupart des os du crâne, les os de la face et la clavicule ont une ossification endoconjonctive, c'est-à-dire à partir d'un tissu conjonctif ; les autres parties du squelette se forment à partir de noyaux cartilagineux, l'ossification est enchondrale (Platzer, 2001). La quasi-totalité des ossements échantillonnés dans notre étude font partie de ces derniers.

Le premier stade d'ossification enchondrale est intra-utérin et commence dans les noyaux primaires des diaphyses. Par la suite, les noyaux osseux secondaires des épiphyses se développent jusqu'au stade de maturité physiologique de l'individu. Les épiphyses se soudent à la

diaphyse arrêtant ainsi le développement du squelette et la croissance longitudinale des os (Birkner et Bléry-lüft, 1980). La maturation des différentes parties du squelette s'effectue selon un ordre chronologique précis, mais la vitesse de croissance est soumise à plusieurs facteurs : génétiques, environnementaux tels que le climat, et culturel (notamment alimentaire) et hormonaux (hormones hypophysaires thyroïdiennes, corticosurrénales et gonadiques) (Birkner et Bléry-lüft, 1980).

d. Remodelage

Au cours de la vie de l'individu, l'os se remodèle en permanence. Ce remodelage est très important pour la santé de l'individu car il possède un rôle métabolique ainsi qu'un rôle de soutien, nécessaire pour les adaptations biomécaniques (Poirier *et al.*, 1997). Le processus de ce remodelage comporte plusieurs phases : une activation de la résorption osseuse, suivie de la résorption en elle-même où le collagène et les protéines non collagéniques sont détruites et enfin la formation de la trame organique du nouveau tissu osseux suivi de sa minéralisation (Raisz, 1988).

On considère généralement que le remodelage complet du collagène osseux s'effectue sur une période de 10 ans en moyenne, mais cette période peut varier de 2 à 20 ans (O'connell et Hedges, 1999), voire plus (10-30 ans d'après Ambrose, 1993). Le renouvellement de l'os spongieux peut être de 3 à 10 fois plus rapide que celui de l'os compact (Klepinger, 1984). Son renouvellement annuel est estimé à environ 10 % et celui de l'os compact est estimé à environ 2,5 % (Libby *et al.*, 1964). Ces propriétés ont pour conséquence un renouvellement plus lent du tissu osseux par rapport au foie, au sang ou aux tissus cérébraux. D'une manière générale, le renouvellement osseux du squelette complet est estimé à environ 10 % par an (Williams *et al.*, 1995).

Différents paramètres peuvent influencer le renouvellement osseux. En effet, la cinétique varie principalement selon la taille du système haversien (plus celui-ci est petit, plus le remodelage est rapide) et donc de l'âge (les très jeunes enfants ont un remodelage plus rapide), du sexe, de l'état sanitaire de l'individu (Ambrose, 2000), des sécrétions hormonales et de la région anatomique (Fizet, 1992 ; Balasse, 1999 ; Balasse *et al.*, 1999 ; Herrscher *et al.*, 2001 ; Herrscher, 2003). Les travaux de Fizet (1992), Rodière (1995) et Balasse et collaborateurs (1999) soulignent qu'il est important de tenir compte, lors d'un échantillonnage, de l'allométrie de la croissance squelettique. En effet, lors de la croissance d'un individu, les épiphyses et les diaphyses des os longs n'ont pas la même vitesse de formation (Scheuer et Black, 2000) ; ce qui est également le cas pour l'os alvéolaire dont la cinétique de renouvellement des tissus est liée à l'éruption dentaire (Fizet, 1992 ; Rodière, 1995 ; Balasse *et al.*, 1999). Les différences de renouvellement

du collagène osseux sont très importantes à prendre en compte pour la compréhension des analyses isotopiques du collagène : lorsque l'os est actif (renouvellement rapide), la nouvelle alimentation s'enregistrera plus vite que dans le collagène que lorsque l'os est moins actif (Parkington, 1991). L'étude de Tieszen (1983) montre également, pour une espèce donnée, un renouvellement plus lent chez les individus ayant une masse corporelle plus importante. D'autres facteurs sont susceptibles d'influencer la vitesse du renouvellement osseux comme l'élévation du métabolisme, induite par la pratique d'exercice physique intense, qui accélère le remodelage osseux et ainsi le renouvellement du collagène (Parkington, 1991 ; Ambrose, 1993). La cinétique du métabolisme va de pair avec celle de l'enregistrement des valeurs isotopiques et avec la capacité à refléter les changements alimentaires au cours de la vie d'un individu (Tieszen *et al.*, 1983). Il est important de tenir compte du fait que la vitesse de renouvellement protéinique du tissu osseux est très mal connue, notamment chez l'adulte. **En conséquence, l'utilisation du tissu osseux, dans les reconstitutions paléalimentaires, est sous contrôle d'un ensemble plurifactoriel et reflète la moyenne de l'alimentation des dernières années de l'individu.**

3 - Les tissus dentaires

La dent est organisée en différents tissus : l'émail, la dentine et le ciment. La partie minérale, composant majoritaire de ces tissus, est formée de cristaux d'hydroxyapatite. Dans la dentine et le ciment la partie organique de est principalement composée de collagène ; dans l'émail la partie organique est composée principalement d'amélogénine (Cate, 1994; Hillson, 1996) (Fig. 10). Contrairement aux tissus osseux, une fois constitués, les tissus dentaires ne subissent pas de remaniement. Ainsi, les différents tissus de la dent peuvent enregistrer des signaux isotopiques différents correspondants à l'alimentation (alimentation lactée, sevrage) lors des périodes de leur formation. Les dents gardent une composition stable après la fin de leur calcification (Wright et Schwarcz, 1998).

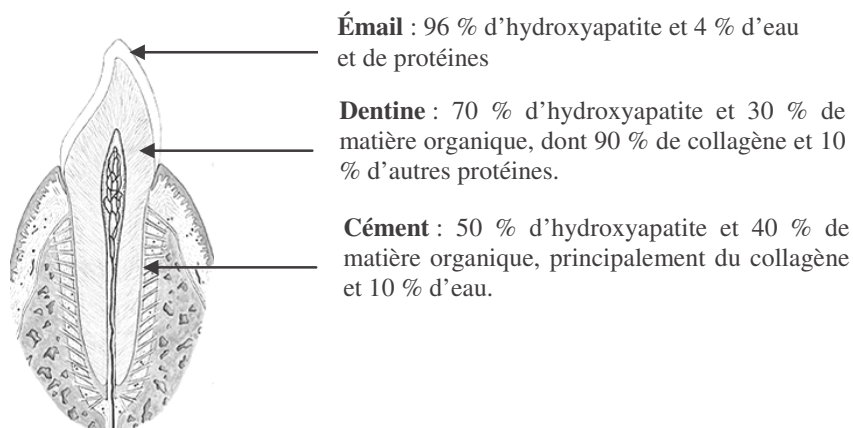


Fig. 10. Structure dentaire (Cate, 1994 ; Hillson, 1996 ; Sobotta, 2002)

Remarque

Les analyses effectuées au cours de notre étude portent principalement sur les tissus osseux, excepté pour un des animaux du site archéologique de Pendimoun, pour lequel une dent a été échantillonnée (*cf.* chap.III § B-1-c.1). Ajoutons également que les tissus dentaires permettent d'aborder d'autres problématiques, qui ne sont pas développées dans ce travail, mais qui sont envisagées dans les perspectives.

4 - La matière organique

a. Le collagène

Une protéine est une chaîne d'acides aminés reliés par des liaisons peptidiques. Les protéines sont composées de 52 % de C et 16 % de N (Phillips et Koch, 2002). Les protéines digérées apportent les substances azotées à l'organisme et les acides aminés qui synthétiseront d'autres protéines (Cheftel *et al.*, 1985). Dans le corps, les protéines se renouvellent en permanence par le biais de plusieurs processus : la synthèse (à partir des acides aminés libres) et la protéolyse (dégradant les protéines et libérant les acides aminés) effectuent le renouvellement protéique puis le catabolisme les élimine définitivement. Ce renouvellement protéique est conditionné par plusieurs facteurs, notamment l'âge, la physiologie, l'état de santé de l'individu et bien sûr l'espèce considérée. L'apport des protéines de l'alimentation et le renouvellement continu de celles de l'organisme génère une quantité d'ammoniac (NH_4^+) excédentaire. Cet excès est éliminé par la voie du cycle de l'urée. Les atomes d'azote les plus légers (^{14}N) sont préférentiellement éliminés dans la phase liquide des excréments (urine). Au cours d'un jeun ou

d'une alimentation hypoprotéinée, l'azote de l'urée peut être réutilisé pour palier le déficit en acides aminés (Hobson *et al.*, 1993).

Dans ce travail, nous nous intéressons à une protéine particulière : le collagène, qui détient essentiellement les informations relatives à la part protéique de l'alimentation de l'individu (Ambrose et Norr, 1993). Le collagène est une protéine de structure. C'est également la protéine fibreuse la plus abondante chez les mammifères, élément majeur de la peau, des tendons, des vaisseaux sanguins, du cartilage, de l'os et des dents (Fig. 11). Cette macromolécule (285 KDa, diamètre de 14 Å et une longueur de 3000 Å) s'organise en triple hélice, composée de microfibrilles s'associant en fibre (Hedges et van Klinken, 1992 ; Hennen, 2001 ; Campbell et Smith, 2002).

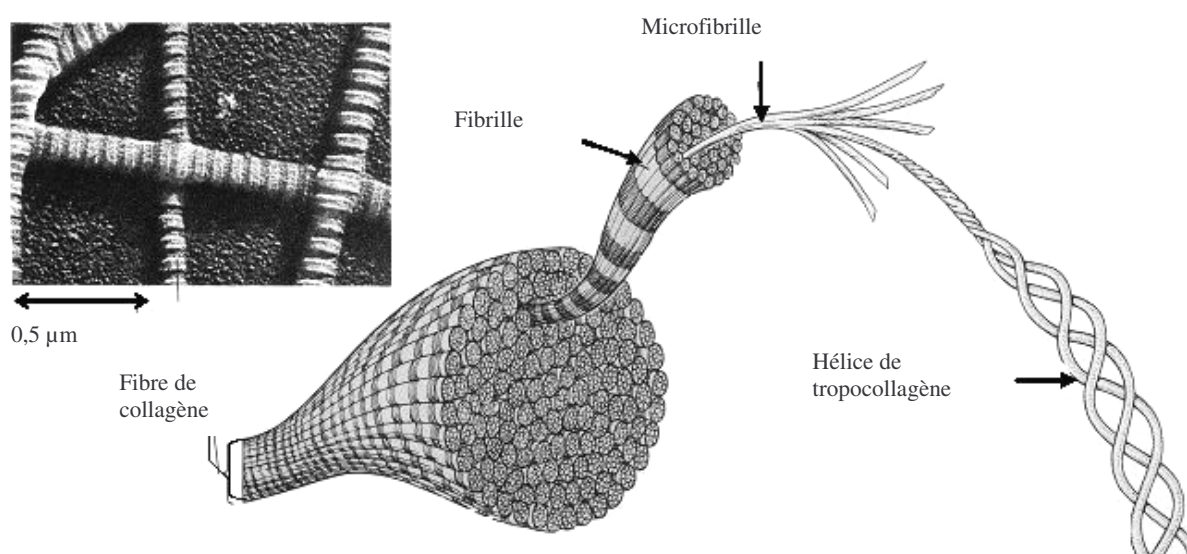


Fig. 11. Fibre de collagène ; d'après (Campbell, 1995).

Il existe treize types de collagène ayant des structures de base différentes (selon la composition en acides aminés) et par conséquent des fonctions différentes (Campbell et Smith, 2002). Tous les collagènes contiennent trois chaînes polypeptidiques composées de mille acides aminés, enroulés en une hélice. Chaque molécule mesure environ 280-300 nm de long (Hillson, 1996). Le collagène de type I est majoritairement présent dans la matrice osseuse (représentant 90 % du collagène des vertébrés), et ces molécules de collagène représentent presque la totalité du poids de la trame organique de l'os sec dégraissé de 90 à 95 %. La matrice de collagène est sécrétée dans le tissu osseux par les ostéoblastes (Campbell, 1995). Le collagène de l'os est insoluble dans des conditions physiologiques et environnementales normales (Nielsen-Marsh *et al.*, 2000). Cette stabilité est due, d'une part, aux liaisons permettant la formation de la triple hélice (Cheftel *et al.*, 1985), et d'autre part, à l'organisation et l'arrangement des fibres. La résistance à la traction et la rigidité de ces molécules confèrent à l'os des capacités d'adaptations

mécaniques et de modifications qualitatives et quantitatives selon le contexte environnemental (Canalis, 1988 ; Einhorn, 1988).

b. Les acides aminés du collagène

Le collagène possède une composition en acides aminés qui le distingue d'autres protéines de l'os. La glycine représente un tiers des acides aminés (Tab.5) et l'hydroxyproline et de l'hydroxylysine sont deux autres acides aminés sont des marqueurs de la protéine de collagène, on les rencontre rarement dans les autres protéines.

Acides aminés du collagène	Composition chimique	% dans le collagène	% de C dans le collagène	% de N dans le collagène
Glycine ^{ne}	C ₂ H ₅ NO ₂	33,4	17,5	28,22
Proline ^{ne}	C ₅ H ₉ NO ₂	13	17	10,91
Alanine ^{ne}	C ₃ H ₇ NO ₂	11,2	8,8	9,40
Hydroxyproline ^{ne}	C ₅ H ₉ NO ₃	8,9	11,7	7,47
Acide Glutamique ^{se}	C ₅ H ₉ O ₄ N	7,4	9,7	6,21
Arginine ^{se}	C ₆ H ₁₄ N ₄ O ₂	5,0	7,85	16,78
Acide Aspartique ^{ne}	C ₄ H ₇ NO ₄	4,4	4,61	3,69
Serine ^{ne}	C ₃ H ₇ NO ₃	3,6	2,83	3,02
Lysine ^e	C ₆ H ₁₄ N ₂ O ₂	2,7	4,24	4,53
Valine ^e	C ₅ H ₁₁ NO ₂	2,5	3,3	2,10
Leucine ^e	C ₆ H ₁₃ NO ₂	2,3	3,6	1,93
Threonine ^e	C ₄ H ₉ NO ₃	1,7	1,78	1,43
Phénylalanine ^e	C ₉ H ₁₁ NO ₂	1,2	2,83	1,01
Isoleucine ^e	C ₆ H ₁₃ NO ₂	0,9	1,41	0,76
Histidine ^e	C ₆ H ₉ N ₃ O ₂	0,5	0,79	1,26
Hydroxylysine ^{ne}	C ₆ H ₁₄ N ₂ O ₃	0,5	0,79	0,84
Méthionine ^e	C ₅ H ₁₁ NO ₂ S	0,5	0,65	0,42
Tyrosine ^{se}	C ₆ H ₁₁ NO ₃	0,3	0,71	0,25

^e : Acides aminés essentiels

^{ne} : Acides aminés non essentiels

^{se} : Acides aminés semi-essentiels

Tab. 5. Composition du collagène en acides aminés ; d'après (Ambrose et Norr, 1993 ; Turban-Just et Schramm, 1998).

Remarque

Pour cette étude, nous travaillons sur l'ensemble du collagène et donc sur l'ensemble des acides aminés qui le composent ; cependant chaque acide aminé peut être étudié séparément. Les acides aminés essentiels sont, par définition, apportés par les protéines de l'alimentation car ils ne peuvent pas être synthétisés par l'organisme. Ainsi, la composition isotopique de ces acides aminés, dans l'organisme d'un individu, est corrélée directement à celle des acides aminés de son alimentation. Les travaux de Fogel et collaborateurs (1997) ont montré par exemple que le $\delta^{15}\text{N}$ de la glycine est équivalent à celui du collagène dans son ensemble, alors que le glutamate, l'aspartate et la proline son enrichis en azote-15 et qu'au contraire la lysine et l'arginine sont appauvris en isotope lourd par rapport aux autres acides aminés et à l'ensemble du collagène.

D'autres chercheurs se sont également penchés sur la question, comme Petzke et collaborateurs¹⁵ (2002) qui soulignent l'existence de deux relations : d'une part entre le $\delta^{13}\text{C}$ de la valine et la consommation de protéines animales, et d'autre part entre les $\delta^{15}\text{N}$ de l'alanine et de la glycine et la consommation de protéines végétales.

¹⁵ Étude effectuée sur la kératine des cheveux de populations modernes.

D- Prélèvement, quantité et qualité de la matière organique osseuse

1- Échantillonnage et zone de prélèvement

Sur chaque site, nous devons à la fois échantillonner la population humaine et les animaux. Selon l'environnement de l'individu et le lieu d'enfouissement des restes osseux, les valeurs isotopiques en carbone et azote peuvent différer. Ainsi, la faune présente sur les sites permet de cerner les résultats isotopiques pour des régimes alimentaires connus. Ainsi nous échantillons, dans la mesure du possible, chaque espèce présente sur le site. L'échantillonnage de quelques végétaux dont la consommation est attestée est également un bon moyen de mieux cerner l'environnement. Dans ce cas des végétaux modernes équivalents sont analysés et la correction du $\delta^{13}\text{C}$ due à l'effet fuel fossile doit être réalisée.

Sachant que certains restes osseux, humains et animaux, font ou feront l'objet d'exposition dans les musées ou bien d'études complémentaires, le choix du prélèvement s'effectue généralement en accord avec le responsable de la série archéologique. Sur les ossements humains, les prélèvements se font préférentiellement sur les diaphyses des os longs, en essayant, dans la mesure du possible, de choisir le même type d'os pour les individus de chaque série. Dans le cas où ce choix n'est pas possible toute autre partie anatomique, de préférence peu ou non spongieuse, est utilisée. Pour la faune, les prélèvements s'effectuent en fonction des restes proposés par les archéozoologues. Ceux-ci se font sur les indications et conseils de ces derniers (zone préférentielle, os rendu après échantillonnage ou non, quantité d'espèce trouvée, échantillon important ou non). Ainsi, les restes squelettiques échantillonnés sont très diversifiés, allant des membres au crâne. L'échantillonnage n'a pas été réalisé sur les ossements ayant permis d'établir le NMI, il n'est pas improbable qu'un même animal ait été échantillonné plusieurs fois. Le fait que différentes parties anatomiques aient été prélevées ne pose pas de problème pour les études isotopiques effectuées chez les adultes. En effet, l'étude de DeNiro et Schoeninger (1983), réalisée sur différentes parties anatomiques de plusieurs individus de la même espèce ayant une alimentation identique, indique que les $\delta^{13}\text{C}$ et les $\delta^{15}\text{N}$ enregistrés sont similaires. Concernant les individus immatures en pleine croissance, le choix de la partie anatomique à prélever peut être plus délicat (*cf.* § 2-c-d et chap. IV § D-2-b). Dans le cas où l'échantillonnage s'effectue sur des dents animales, les calendriers de croissance spécifiques doivent être pris en compte afin de prélever les zones formées pendant le régime adulte.

Soulignons que l'échantillonnage d'ossements ayant subi la crémation ou les brûlures est déconseillé. Des expériences montrent que les fortes températures peuvent changer les teneurs élémentaires et les compositions isotopiques en carbone et en azote des os, notamment en entraînant une baisse du $\delta^{13}\text{C}$ importante (Legros *et al.*, 1978 ; Person, 1996). Ces variations

(C/N, $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) dépendent principalement de la température et de la durée de chauffage. D'après les travaux de Legros et collaborateurs (1978) et Susini (1988), le collagène de l'os est présent jusqu'à 200°C, mais les proportions de carbone et d'azote augmentent jusqu'à 150°C (due à la perte d'eau). Au-delà de 150°C, ces proportions diminuent et la matière organique est très altérée vers 230°C. Le collagène n'est plus présent vers 300°C.

2- Quantité de matière organique osseuse résiduelle

a. Vérification de la quantité de matière organique résiduelle

L'état de conservation des os¹⁶ renseigne en premier lieu sur la présence de matière organique en vue d'une extraction de collagène, ce qui permet d'estimer la quantité d'os nécessaire pour en extraire les quelques mg nécessaires à l'analyse isotopique (Bocherens *et al.*, 1997b). Dans un os frais, la proportion de carbone est de 12 à 15 % et celle d'azote d'environ 4,3 % (*ibid.* ; Bocherens *et al.*, 2005b) ; en deçà d'une proportion d'azote de 0,4 %, l'extraction de collagène risque d'être difficile. Pour connaître les proportions de carbone et d'azote dans les ossements archéologiques, un broyage de la pièce osseuse, préalablement nettoyée, est nécessaire afin d'effectuer une analyse sur 5 mg de poudre d'os, à l'aide d'un analyseur élémentaire MC 2500 Carlo Erba (analyses réalisées au laboratoire EPOC UMR 5805). Cette partie méthodologique a été réalisée sur 115 ossements humains et animaux du Néolithique ancien et moyen du sud de la France (*cf.* § 7). Cette première analyse nous permet d'avoir une idée de l'état de conservation de la matière organique des ossements d'une partie des sites étudiés, mais cette mesure n'a pas été systématiquement effectuée sur tous les échantillons.

Dans un os frais, le pourcentage de carbone peut être estimé par la formule suivante (Person, 1996) :

$$\% C_{os} = 2,7 \times \% N \text{ total de l'os} + 1,4$$

Une contamination des ossements archéologiques peut être mise en évidence lorsque les teneurs en carbone sont supérieures à celles estimées par cette relation (Bocherens *et al.*, 2005a ; 2005b). En effet, lorsque l'os est mal préservé, les contaminants peuvent représenter une grande proportion du carbone total, ce qui est également préjudiciable pour les datations radiocarbone (Gurfinkel, 1987). Ce pourcentage de carbone excédentaire, issu de la contamination, correspond à une quantité minimale. Il faut garder en mémoire que l'absence de carbone excédentaire ne

¹⁶ L'état de conservation d'un os peut être abordé sous différents angles : macroscopique et moléculaire. Dans le cadre de nos analyses, c'est l'état de conservation moléculaire qui nous intéresse en premier lieu. Cependant, sur les sites étudiés, la fragmentation osseuse et l'état de conservation macroscopique sont parfois indiqués, apportant des informations complémentaires sur l'état de la collection et sur les relations possibles avec le terrain d'enfouissement.

signifie pas une absence de contamination. Lors de l'enfouissement, les échanges entre les éléments chimiques des os et le sol sont récurrents et un atome de carbone peut en remplacer un autre sans pour autant être en excédent (Nielsen-Marsh *et al.*, 2000). La concentration en azote de l'os, quant à elle, permet d'apprécier si la matière organique présente est suffisante pour être extraite et analysée.

D'autres vérifications peuvent être effectuées sur le $\delta^{13}\text{C}$ de l'os. Pour témoigner d'une absence de contamination, le $\delta^{13}\text{C}$ de l'os total doit être proche du $\delta^{13}\text{C}$ du collagène (Person *et al.*, 1996). Dans le cas contraire, il est possible d'identifier certains contaminants puisque les sources organiques extérieures de carbone, telles que les acides humiques, ont des taux de ^{13}C très bas (inférieur à -23 ‰ ; Bocherens et Mariotti, 1992 ; van Klinken, 1999). En revanche le $\delta^{15}\text{N}$ ne peut être utilisé comme paramètre de conservation de l'échantillon car il reflète le niveau trophique de l'individu (van Klinken, 1999).

b. État de conservation général des ossements néolithiques du sud de la France

L'analyse élémentaire de l'os n'a pas toujours été réalisée et dépend des protocoles d'étude utilisés dans les laboratoires et de la série archéologique. Les analyses isotopiques effectuées sur le collagène requièrent une quantité suffisante de matière organique. Pour estimer si les ossements de nos séries en contiennent suffisamment, une analyse élémentaire a été réalisée sur 115 d'entre eux, au laboratoire EPOC. Les proportions moyennes d'azote et de carbone excédentaires sont présentées dans le tableau ci-dessous, et la totalité des résultats en annexe (annexe 3). Ces données nous permettent d'une part, d'appréhender la dégradation du collagène et de mieux cerner l'ampleur des contaminations et d'autre part, de quantifier approximativement la quantité de matière osseuse nécessaire pour extraire au moins quelques mg de collagène. En deçà de 0,4 ‰ d'azote l'extraction de collagène n'a pas été tentée.

	% C _{os} moyen	% C _{os} max	% C _{os} min	% N _{os} moyen	% N _{os} max	% N _{os} min	% C _{os} exc moyen	% C _{os} exc max	% C _{os} exc min
Restes humains (n = 58)	5,6	10,0	3,6	1,1	3,4	0,2	1,2	5,1	0,1
Faune (n = 57)	6,7	11,5	3,9	1,4	3,5	0,6	1,4	5,3	0,3
Total (n = 115)	6,1	11,5	3,6	1,3	3,5	0,2	1,3	5,3	0,1

Tab. .6. Moyenne, minimum et maximum des proportions de carbone, d'azote et de carbone excédentaire des ossements (analyses réalisées au laboratoire EPOC).

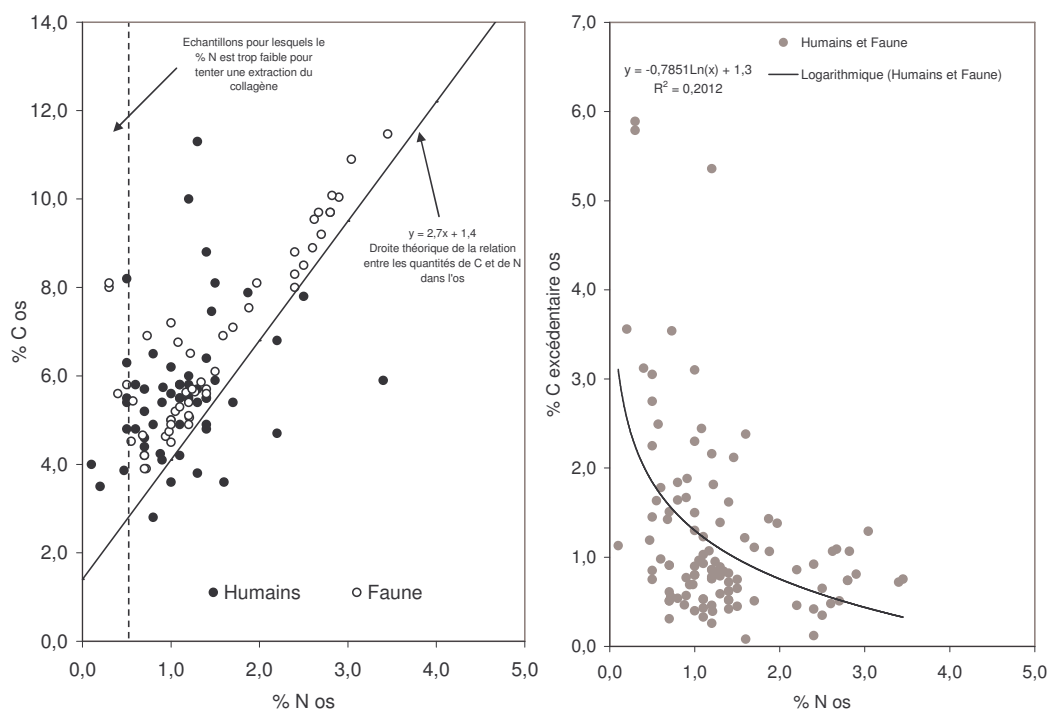


Fig. 12. Relations entre les proportions de C et N dans les ossements et entre les proportions de C excédentaires et de N des ossements archéologiques. En deçà de 0,4% de N, l'extraction de collagène n'est pas tentée.

Les proportions de carbone sont faibles, entre 3,6 % et 11,5 % tout comme celles de l'azote qui sont comprises entre 0,2 % et 3,5 %, soit en moyenne moins de 50 % des proportions initiales d'un os frais (Fig. 12). Cette constatation est plus marquée pour les ossements humains que pour ceux des animaux. La proportion de carbone excédentaire minimale est comprise entre 0,1 % et 5,3 %, et elle est en moyenne plus importante dans les ossements animaux que dans les ossements humains. Il n'existe pas de corrélation entre la proportion de carbone excédentaire et la quantité de matière organique préservée (% N) ; en revanche, une forte corrélation positive est signalée entre la proportion de carbone et d'azote préservée dans les échantillons (Fig. 12 ; annexe 4) sur l'ensemble des ossements. Ce résultat montre que la perte des éléments carbone et azote lors des processus taphonomiques est concomitante. Ces observations indiquent une faible préservation générale de la matière organique de ces échantillons, probablement plus liée à la dégradation qu'à la contamination. Toutefois, on remarque que la contamination devient importante lorsque la matière organique atteint une proportion \leq à 1 %. Ces résultats indiquent que l'état de conservation de la matière organique est meilleur dans les échantillons dont la proportion d'azote dans l'os est supérieure à 1 % et imposent d'utiliser une quantité de matière osseuse d'au moins 0,2-0,3 g pour l'extraction du collagène¹⁷.

¹⁷ Cette estimation se fonde sur le fait que dans un os frais (%Nos de 4,5) 0,05g d'os sont suffisants pour extraire 0,01g de collagène (soit plus de 3 fois la quantité nécessaire pour les analyses).

3- Vérification de la qualité du collagène extrait

Il est indispensable de vérifier que le collagène analysé n'a pas subi d'altération chimique lors de l'enfouissement afin d'assurer sa validité pour les analyses isotopiques (Bocherens *et al.*, 2005a ; 2005b). Le rendement d'extraction permet d'estimer la quantité de collagène extrait et les proportions de carbone et d'azote, ainsi que le C/N permettent de contrôler la qualité du collagène extrait.

a. Rendement d'extraction du collagène

Sur l'os actuel, le rendement est d'environ 200 mg/g¹⁸ (Bocherens, 1992) et il est conseillé pour les ossements archéologiques d'avoir un rendement supérieur à 10 mg/g ; en deçà, les concentrations en carbone et en azote ainsi que les valeurs isotopiques risquent d'être très altérées (Ambrose, 1990). Cependant, la méthode d'extraction, faisant intervenir l'ultrafiltration (réalisée en Allemagne), diminue très fortement les rendements (moins de la moitié des rendements obtenus par l'autre méthode) tout en gardant une qualité de collagène correcte. C'est pourquoi nous prendrons en compte ce rendement uniquement pour les échantillons extraits au laboratoire de Bordeaux. De plus, les travaux de Drucker et collaborateurs effectués sur les cervidés des couches aziliennes, de sites archéologiques français, accusent des rendements de collagène qui peuvent descendre jusqu'à 6,2 mg/g voire même 4,8 mg/g pour le fémur d'une antilope saïga du Paléolithique supérieur, tout en gardant une bonne qualité du collagène extrait (Drucker *et al.*, 2003 ; Drucker et Henry-Gambier, 2005).

b. Les proportions de carbone et d'azote du collagène extrait

Les teneurs en C et en N du collagène permettent de vérifier la qualité biochimique du collagène extrait. Dans le collagène d'un os frais, le carbone représente en moyenne 36 % à 42 % de la masse (min. de 15,3 % et max. de 47 % ; Ambrose, 1990) et l'azote en moyenne de 12 % à 16 % (min. de 5,5 % et max. de 17,3 % ; Ambrose, 1990). Dans ce travail, compte tenu des mauvaises conditions taphonomiques de certains sites archéologiques, nous acceptons en général une limite inférieure de 30 % pour le carbone et 10 % pour l'azote, valeurs souvent considérées comme valides dans la littérature (Lillie et Richards, 2000 ; Richards et Hedges, 2003) ; cependant il est certain que les échantillons dont les proportions de carbone et d'azote sont inférieures à 36 % et 12 % respectivement ne sont pas bien conservés. En dessous de ces valeurs,

¹⁸ Résultat obtenu à partir de la même méthode d'extraction que nous utilisons à Bordeaux, avec plus de 0,4 g d'os au départ.

la qualité du collagène est mauvaise et les valeurs isotopiques du collagène de ces échantillons doivent être considérées avec beaucoup de précautions, voire écartées de la discussion.

La phase de déminéralisation du protocole d'extraction du collagène est très importante puisqu'elle détermine la validité du C/N. Le C/N permet également d'évaluer la qualité du collagène extrait (Grupe et Piepenbrink, 1986). En effet, le C/N du collagène extrait doit être compris entre 2,9 et 3,6 (DeNiro, 1985). Au-delà de ces valeurs, l'échantillon a pu garder des contaminants (lipides et contaminants organiques du sol) ayant des rapports isotopiques différents des échantillons (Bocherens, 1997a). En deçà de cette gamme de valeurs, le collagène n'est pas assez bien préservé (Ambrose, 1993). Certains auteurs expliquent la dénaturation de la matière organique endogène par la perte de collagène et l'augmentation quantitative de protéines non collagéniques dont le C/N diffère de celui du collagène (Masters, 1987 ; Schoeninger *et al.*, 1989).

Dans ce travail, nous avons considéré comme valides les échantillons dont le % N est généralement ≥ 10 (limite inférieure acceptée : 9,5 %), le % C généralement $\geq 30\%$ (limite inférieure acceptée : 25,8 %¹⁹) (Ambrose, 1990) et le C/N atomique compris entre 2,9 et 3,6 (DeNiro, 1986), excepté pour les échantillons du site de la Baume Bourbon (*cf.* chap. III § 4).

¹⁹ Cette limite ne concerne qu'un seul échantillon. Dans les autres cas, les valeurs les plus basses acceptées sont comprises au-delà de 29,0 %.

E – L'outil statistique : analyses des données et tests appropriés

L'ensemble des données disponibles sur les séries étudiées et celles obtenues par le biais des analyses élémentaires et isotopiques ont fait l'objet de comparaisons dans le but de comprendre les relations qui peuvent exister entre les différents paramètres, biologiques et archéologiques, et les choix de subsistance. Pour ce, l'application d'un certain nombre de tests statistiques est indispensable et leur choix nécessite une attention particulière quant à la nature des données, leur distribution et l'effectif des échantillons utilisés. Toutes les analyses statistiques présentées dans le traitement des données sont réalisées à partir du logiciel Statistica© version 7.1 (Statsoft, 2005).

1- La distribution des variables

La description d'une variable se traduit en premier lieu par la forme de sa distribution. Cette distribution, normale ou non, correspond à la répartition des fréquences de valeurs dans les intervalles de la variable. La normalité d'une distribution est définie par une fonction qui utilise uniquement la moyenne et la variance, elle se caractérise par le fait de 95 % de l'échantillon est compris dans un intervalle de valeurs de ± 2 écarts-types autour de la moyenne ; graphiquement elle est représentée par une courbe « en cloche » où la moyenne et la valeur modale se superposent. Des tests statistiques permettent de mettre en évidence la normalité d'une distribution. La représentation graphique (histogramme) permet de déceler d'éventuels sous-ensembles (*e.g.* bimodalité). Les tests de normalité les plus couramment utilisés sont celui de Kolmogorov-Smirnov et le test W de Shapiro-Wilk pour leur puissance.

2- Les tests statistiques

Pour analyser les données, deux ensembles de tests peuvent être utilisés : paramétriques et non paramétriques. Le premier ensemble de tests nécessite au préalable que les distributions des variables utilisées suivent la loi normale. Dans le cas contraire des tests non paramétriques sont appliqués car ils ne font pas d'hypothèses sur la forme de la distribution. Ces tests font intervenir comme paramètre de centrage la médiane contrairement aux tests paramétriques qui utilisent la moyenne. Ces derniers sont également préférentiellement choisis lorsque les effectifs des variables prises en compte sont faibles ou très faibles (Schwartz, 1963 ; Chenorkian, 1996). Ce dernier cas de fig. s'est régulièrement présenté au cours de ce travail et par conséquent nous avons principalement utilisé les tests non paramétriques suivants :

- le test U de Mann-Whitney qui est le test non paramétrique le plus puissant et l'un des plus couramment utilisés pour comparer des données quantitatives de deux groupes indépendants.

- l'Anova de Kruskal-Wallis par rang et le test des médianes qui permettent de comparer les données quantitatives de deux ou plusieurs groupes indépendants.
- Le test exact de Fisher a été également utilisé pour mettre en évidence la dépendance possible entre deux variables qualitatives différentes (*e.g.* sexe et stature répartie en classes nominatives).

3- Significativité des résultats

La significativité d'un résultat statistique, appelée également niveau p , indique sa fiabilité ou plus précisément la probabilité que le résultat obtenu soit un phénomène aléatoire. La plupart du temps dans de nombreuses disciplines, le seuil de significativité est admis à $p \leq 0,05$. Dans ce cas, le résultat obtenu a 95 % de chance de refléter un phénomène qui n'est pas dû au hasard. En ce qui concerne nos analyses nous avons choisi de considérer comme significatifs les résultats dont la probabilité associée est $p \leq 0,05$, et très significatifs et hautement significatifs les résultats dont la probabilité associée est respectivement $p \leq 0,01$ et $p \leq 0,001$. Notons cependant que la significativité d'un résultat est généralement soumise à l'effectif étudié. En effet, dans le cas d'un effectif important l'observation d'une faible différence sera significative, à l'inverse dans le cas d'un effectif très faible l'observation d'une grande différence pourra être non significative. Au cours des analyses effectuées, l'étude de faibles, voire très faibles effectifs s'est régulièrement présentée et par conséquent les résultats proposés doivent être interprétés avec prudence ; de fait, lorsque les résultats obtenus ne sont pas significatifs il faut garder à l'esprit que la comparaison n'est pas vaine et ne doit pas être écartée des voies de recherches ultérieures.

F -Comparaison méthodologique

1 - Extraction de la matière organique et analyses isotopiques

Dans ce travail, deux méthodes d'extraction du collagène ont été utilisées, toutes deux sur une grande partie des échantillons du Néolithique moyen ; le collagène des autres échantillons a été extrait par l'une ou l'autre des méthodes. La première méthode, utilisée à Bordeaux, fait intervenir un équipement déjà présent au laboratoire Environnement et Paléoenvironnement Océanique (EPOC). Les financements de ces analyses ont été en majeure partie accordés pour l'étude des ossements du Néolithique moyen dans le cadre d'une ACR²⁰. La deuxième méthode, utilisée à Département d'Evolution Humaine de l'Institut Max Planck de Leipzig (MPI-EVA), fait intervenir un équipement un peu différent du précédent mais surtout des étapes plus complexes. Les financements de ces analyses ont été ici accordés par les programmes de recherches du Département d'Évolution Humaine de l'Institut Max-Planck de Leipzig (MPI-EVA). Dans ce dernier laboratoire, quelques séries archéologiques du Néolithique ancien ont fait l'objet d'une étude unique. En revanche, des ossements du néolithique moyen, déjà analysés au laboratoire EPOC, ont pu être étudiés une seconde fois dans l'objectif d'une part, de comparer les méthodes d'extraction du collagène et d'autre part de pouvoir effectuer un travail statistique de traitement des données prenant en compte l'ensemble des périodes du Néolithique. De plus, une partie des échantillons, dont le collagène a été extrait à Leipzig, a également été au préalable analysé au laboratoire Iso-Analytical (Sandbach, Angleterre) dans le but de comparer les données et d'une intercalibration.

a. Extraction et analyse du collagène réalisées au laboratoire EPOC (Bordeaux, France)

Le collagène des échantillons est extrait à partir du protocole établi par Longin (Longin, 1971) et réadapté par Brown (Brown *et al.*, 1988) et Bocherens (Bocherens, 1992). Une fois nettoyé et broyé (granulométrie inférieure à 0,7 mm), l'échantillon subit une déminéralisation dans l'acide chlorhydrique (1 M), puis un traitement à la soude (0,125 M) qui permet d'enlever les lipides et les contaminants humiques. Enfin, le collagène est solubilisé dans une solution d'acide chlorhydrique de faible concentration (0,01 M) et lyophilisé (détail en annexe 1).

²⁰ Action Collective de Recherche : « Espaces et expressions funéraires au Néolithique moyen dans le monde pyrénéen et ses marges », dirigée par J. Vaquer (UMR 8555, Toulouse).

Les teneurs en carbone et azote et les taux isotopiques sont mesurés à partir de 0,5 mg de collagène, par spectrométrie de masse isotopique, "ISOPRIME", couplée à un analyseur élémentaire NC 2500 Carlo Erba du laboratoire EPOC (Fig. 13). Le collagène extrait est disposé dans des capsules d'étain qui sont brûlées à 1000°C dans l'analyseur élémentaire et transformées en gaz (N₂, CO₂, H₂O). Une fois l'eau piégée, les gaz sont séparés dans une colonne chromatographique et arrivent successivement dans le spectromètre de masse (poussés par un flux continu d'hélium). Le gaz est ionisé et accéléré vers un champ magnétique qui dévie les ions. Le rayon de courbure varie selon la masse des ions. Ces derniers sont récupérés dans trois collecteurs. Les signaux sont analysés par un ordinateur qui calcule les rapports isotopiques (logiciel MASSLYNX). Le spectromètre de masse possède une reproductibilité sur standard < à 0,2 ‰ pour le carbone et l'azote (annexe 8). Les standards utilisés pour corriger le $\delta^{13}\text{C}$ et le $\delta^{15}\text{N}$ sont la glycine, la caséine et un standard IAEA²¹ N2 (sulfate d'ammonium ; valeur IAEA de 20,3 ‰). Les résultats obtenus sur ce dernier indiquent un $\delta^{15}\text{N}$ moyen de 20,26 ‰ ± 0,13 (n= 12). Ces standards encadrent parfaitement les valeurs obtenues sur les échantillons de collagène. Pour les concentrations d'azote et de carbone, le standard est l'acétanilide.

Remarque

Toutes les analyses effectuées au laboratoire EPOC (UMR-5805 de l'Université Bordeaux 1) sur l'os et sur le collagène extrait sont au minimum dupliquées une fois. Les valeurs que nous avons choisi de prendre en compte pour les interprétations sont les moyennes des valeurs obtenues pour chaque échantillon. L'extraction et les analyses ont été effectuées avec l'aide de Karine Charlier et Isabelle Billy (ITARF au laboratoire EPOC UMR 5805).



Fig. 13. Analyseur élémentaire et spectromètre de masse isotopique du laboratoire EPOC (cliché Charlier).

²¹ Agence International de l'Énergie Atomique.

b. Extraction du collagène au laboratoire MPI-EVA et analyses réalisées aux laboratoires Iso-Analytical et MPI-EVA

Le protocole d'extraction du collagène est fondé sur les travaux de Longin (Longin, 1971), réadapté par Brown (Brown *et al.*, 1988) ; il tient compte également de plusieurs études méthodologiques (Lidén *et al.*, 1995 ; Semal et Orban, 1995 ; van Klinken, 1999) (détail en annexe 2). L'échantillon osseux est décalcifié par l'HCl (0,5M) sur poudre ou bien sur fragment, mais dans un environnement ne dépassant pas 4-5 °C. De cette manière, la décalcification est plus lente que dans le protocole précédent, permettant ainsi une meilleure préservation des molécules de collagène. Une fois décalcifié, l'échantillon est rincé par centrifugation puis chauffé à 70 °C pendant 48 h dans une solution d'HCl (0,5 M) pour solubiliser le collagène. Cette solution est ensuite filtrée. Le filtrat récupéré contient les molécules de collagène, séparées en deux parties par le biais d'une ultrafiltration. Lors de cette étape, le collagène solubilisé est centrifugé dans un ultrafiltre qui va séparer les molécules supérieures à 30 kDa de celles qui sont inférieures. D'une manière générale, seule la partie contenant les molécules les plus grosses et donc les mieux préservées est congelée puis lyophilisée. Le collagène, une fois lyophilisé, est analysé au laboratoire Iso-Analytical de Sandbach (Angleterre) et à l'Institut Max Planck de Leipzig (Allemagne). Les extractions ont été effectuées avec l'aide de Annette Weiske (assistante de laboratoire à l'Institut Max Planck).

b.1 Analyses isotopiques réalisées au laboratoire Iso-Analytical (Sandbach, Angleterre)

Les teneurs en carbone et azote et les taux isotopiques sont mesurés à partir d' 1 mg de collagène, par spectrométrie de masse isotopique, « Europa Scientific Roboprep-CN ». Le collagène pesé est disposé dans une capsule d'étain qui est brûlée à environ 1000°C. Les gaz résultant de la combustion sont balayés par un flux d'hélium vers des catalyseurs de combustion pour oxyder les hydrocarbures et enlever le soufre et les halogénures. Les gaz résultants sont balayés vers un étage de réduction où la température atteint 600°C, pour enlever l'oxygène et convertir NOx en N₂, puis l'eau est piégée. L'azote et le carbone sont ensuite séparés puis ionisés et accélérés par la source du Europa Scientific 20-20 IRMS. Chaque gaz spécifique de différente masse est séparé dans un champ magnétique et simultanément mesuré. Le spectromètre de masse possède une reproductibilité sur standard de 0,1 ‰ pour le carbone et l'azote. Les standards utilisés pour les valeurs isotopiques et les concentrations en carbone et azote sont le foie de bovins et des standards internationaux (IAEA-CH-6, IAEA-N1 et IAEA-N2²²). Les résultats obtenus sur standard IAEA N2 indique que le $\delta^{15}\text{N}$ moyen est de 20,24 ‰ \pm 0,06 (n = 5).

²² Sucre et sulfate d'ammonium.

b. 2 Analyses isotopiques réalisées au laboratoire MPI-EVA (Leipzig, Allemagne)

Un bon nombre des échantillons préalablement mesurés dans les deux laboratoires précédents a fait l'objet d'une troisième analyse lors de la mise en fonction du spectromètre de masse isotopique à l'Institut Max Planck. Cette analyse avait pour objectif (1) de comparer les données entre les différents équipements, et (2) de corriger des erreurs obtenues sur certaines quantités élémentaires obtenues au laboratoire Iso-Analytical²³. Les teneurs en carbone et azote et les taux isotopiques sont mesurés à partir de 0,5 mg de collagène (entre 0,450 et 0,550 mg), par spectrométrie de masse isotopique, « Thermo Finigan Delta Plus XP » couplée à l'analyseur élémentaire « Flash EA system ». Le spectromètre de masse possède une reproductibilité sur standard de 0,1 ‰ pour le carbone et l'azote. Les standards utilisés sont le foie de bovins, le sulfate d'ammonium (IAEA N2 et IAEA N1), l'acide glutamique, le saccharose, le polyéthylène et la méthionine (annexe 9). La reproductibilité des mesures est < 0,1 ‰. Les résultats obtenus sur le standard IAEA N2 indiquent un $\delta^{15}\text{N}$ moyen de $20,42 \text{ ‰} \pm 0,12$ (n = 14). Les analyses ont été réalisées avec l'aide de Stefanie Bösel (assistante de laboratoire à l'Institut Max Planck) et Gillian Taylor (Post-doctorante au Département d'Evolution Humaine, MPI-EVA).

c. Comparaison analytique des spectromètres de masse isotopiques

L'utilisation de différents spectromètres de masse isotopiques pour plusieurs échantillons nécessite que l'on regarde avec plus d'attention leur reproduction analytique sur un même standard.

Laboratoires	IAEA N1			IAEA N2			IAEA CH7		
	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	σ $\delta^{15}\text{N}$ (‰)	N	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	σ $\delta^{15}\text{N}$ (‰)	N	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	σ $\delta^{13}\text{C}$ (‰)	N
EPOC	0,47	0,12	12	20,26	0,13	12	-31,86	0,10	8
MPI-EVA	0,43	0,25	15	20,42	0,12	15	-	-	-
Iso-Analytical	0,51	0,03	5	20,24	0,06	5	-31,85	0,04	5

Tab. 7. Résultats des valeurs isotopiques et les écarts-types des standards IAEA N2 et IAEA CH7 obtenues dans les différents laboratoires.

Les résultats de $\delta^{15}\text{N}$ et de $\delta^{13}\text{C}$ des standards internationaux IAEA N1, IAEA N2 et IAEA CH7 par exemple (Tab. 7 ; Fig. 14) indiquent que la plupart des valeurs obtenues sont similaires dans les laboratoires où de nombreux échantillons ont fait l'objet de répliquas.

²³ Certains échantillons, dont le collagène a été extrait par ultrafiltration, possédaient des valeurs de %C, %N et C/N très élevés. Les résultats isotopiques n'en sont cependant pas affectés. Tous les résultats sont présentés en annexe.

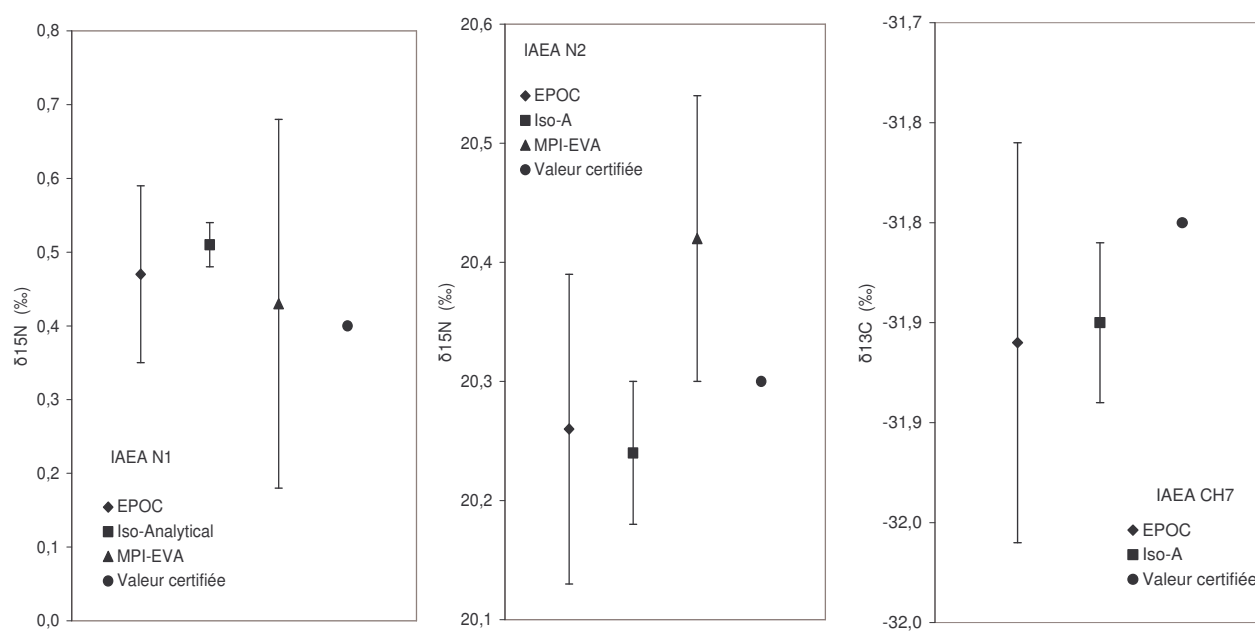


Fig. 14. $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$ et écart-type des standards N1, N2 et CH7 obtenus par les spectromètres de masse isotopique de différents laboratoires et sa valeur certifiée par l'IAEA.

2- Comparaison des chaînes opératoires : proposition d'étude de répliques

Cent échantillons ont été répliqués dans les laboratoires présentés ci-dessus et plus particulièrement à EPOC et Iso-Analytical. Ces échantillons ont été extraits avec une méthode d'extraction différente et étudiés avec un équipement analytique différent. De fait, dans une étape suivante, nous avons choisi de sélectionner 10 échantillons sur lesquels le collagène a été extrait deux fois (une fois par la méthode utilisée à Bordeaux et l'autre par la méthode utilisée à Leipzig) et analysés deux fois (pour chaque méthode, une fois par spectromètre). Nous tenterons au cours de ce travail d'analyse de comparer les chaînes opératoires utilisées et d'estimer le rôle de l'état de conservation des échantillons.

a. Comparaison de deux méthodes d'extraction du collagène

Les méthodes d'extraction du collagène diffèrent par de nombreux points (Fig. 15). L'utilisation d'une solution de soude (NaOH) dans le laboratoire EPOC permet d'enlever les contaminants et les lipides. Cette étape est relativement simple mais semble déconseillée pour les échantillons dont la matière organique est très peu préservée, car elle peut affecter les acides aminés (Lidén *et al.*, 1995). Dans le laboratoire MPI-EVA où cette étape n'est pas effectuée, l'utilisation d'ultrafiltre est en revanche systématique et permet d'isoler les contaminants, les lipides et les molécules de collagène trop abîmées, du collagène bien conservé. Au laboratoire

EPOC, les temps de déminéralisation et de chauffage sont plus courts mais les températures plus élevées qu'au laboratoire MPI-EVA. Dans ce dernier, le temps de réaction chimique est ralenti au maximum afin que les molécules de collagène soient le moins possible abîmées.

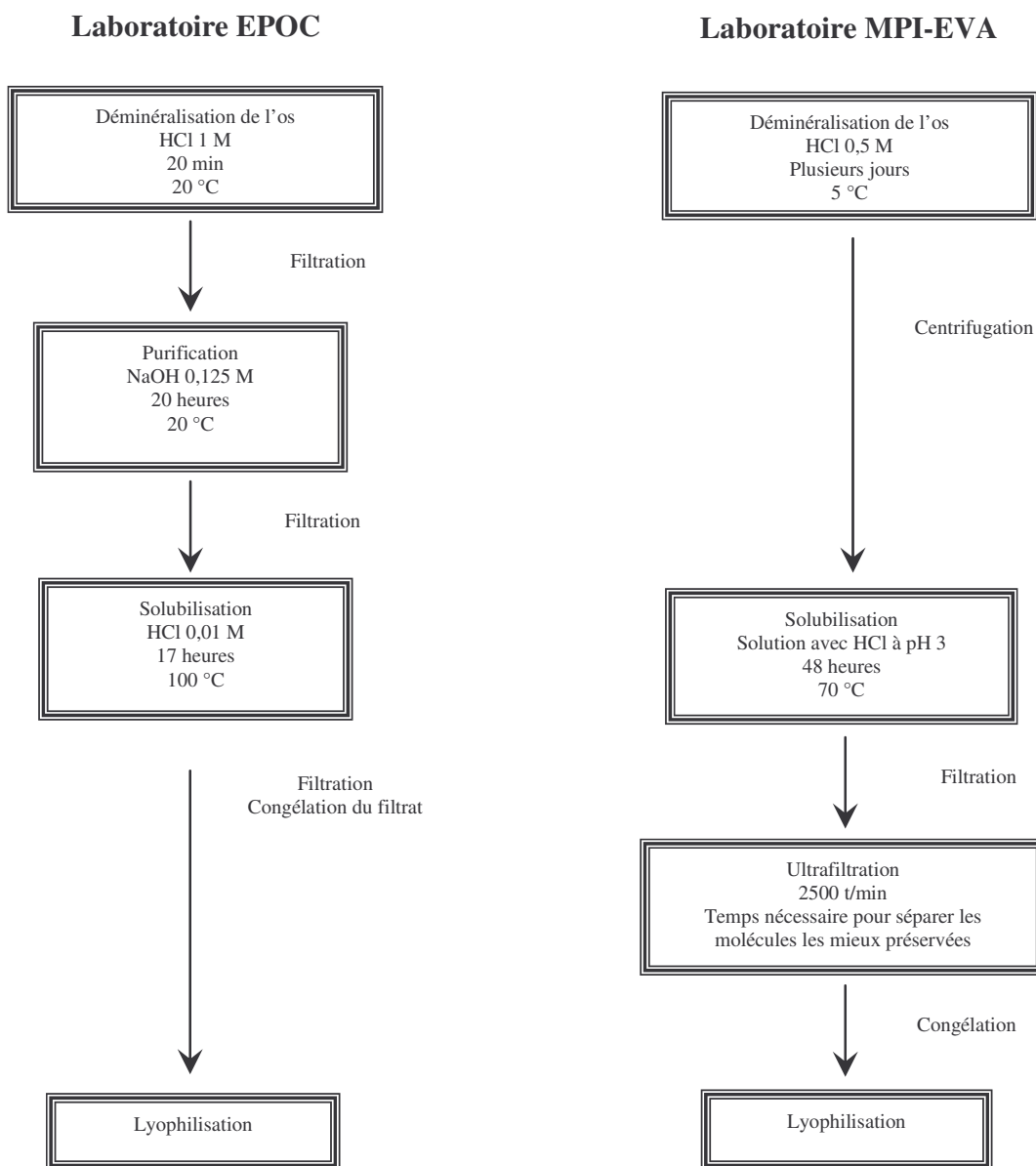


Fig. 15. Schéma des différentes méthodes d'extraction du collagène effectuées au laboratoire EPOC et au laboratoire MPI-EVA.

b. Comparaisons des résultats

b.1 Echantillons extraits et analysés dans deux laboratoires différents

Au cours de l'étude des différents sites archéologiques nous avons testé deux chaînes opératoires sur 100 échantillons animaux et humains du Néolithique ancien mais surtout du Néolithique moyen. La comparaison des données ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, % C, % N et rendement d'extraction) obtenues entre les différentes chaînes opératoires (Fig. 16 ; Fig. 17) met en évidence que les rendements d'extraction ainsi que le $\delta^{13}\text{C}$ sont presque toujours plus élevés au laboratoire EPOC qu'aux laboratoires MPI-EVA et Iso-Analytical. En revanche, les teneurs en carbone sont en général plus bas au laboratoire EPOC qu'au laboratoire Iso-Analytical et le $\delta^{15}\text{N}$ ainsi que les teneurs en azote sont généralement équivalentes.

La comparaison de ces échantillons (n = 100) montre également qu'une grande partie des différences de résultats isotopiques obtenus dans les deux laboratoires sont au-delà de 0,2 ‰, mais il existe cependant quelques disparités de résultats (Tab. 8). Sur l'ensemble des échantillons dupliqués, on remarque que 35 d'entre eux ont des binômes²⁴ avec des $\delta^{13}\text{C}$ similaires²⁵, mais toutefois les valeurs obtenues à EPOC sont plus élevées. Parmi ces échantillons, 45 d'entre eux ont des binômes avec des $\delta^{15}\text{N}$ similaires et 15 ont des binômes caractérisés par des valeurs isotopiques ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) similaires (soit 15 % des échantillons). Ces derniers sont considérés comme bien dupliqués. Parmi l'ensemble des échantillons incorrectement dupliqués, 58 (soit 68,2 %) ont un état de conservation correct et parmi les échantillons correctement dupliqués, seulement 3 (soit 20 %) ont un mauvais état de conservation (échantillon non valide). Visiblement les échantillons ne réagissent pas tous de la même manière, mais on remarque tout de même qu'une grande proportion de ceux qui sont bien dupliqués a un bon état de conservation. Il est donc indispensable de voir si la qualité du collagène, extrait des échantillons correctement dupliqués, et de ceux incorrectement dupliqués, peut avoir une influence sur les résultats isotopiques.

²⁴ Nous entendons par binômes un échantillon traité suivant les deux protocoles d'extraction du collagène d'où la réalisation de deux analyses.

²⁵ A la précision analytique près.

Sites	Echantillons	%C	%N	C/N	Rdt (mg/g)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	%C	%N	C/N	Rdt (mg/g)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\Delta \delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\Delta \delta^{15}\text{N}$ (‰)
Le Crès	Capriné 169	19,4	7,0	3,2	12,1	-20,1	7,3	37,2	12,7	3,4	8,1	-20,2	6,8	0,1	0,5
Le Crès	Chien A	34,2	12,2	3,3	48,6	-19,4	8,1	42,4	14,4	3,4	11,3	-19,5	8,9	0,1	-0,8
Le Crès	Chien B	40,1	14,5	3,2	43,5	-19,6	7,8	32,6	10,5	3,6	6,7	-20,1	7,7	0,5	0,1
Le Crès	Chien 7	18,2	7,2	2,9	12,3	-19,6	7,5	41,7	13,6	3,6	4,5	-19,6	8,3	0,0	-0,8
Le Crès	Chien 73	34,1	12,0	3,3	49,0	-19,5	7,9	40,0	13,5	3,4	10,3	-19,7	8,0	0,2	-0,1
Le Crès	Chien 79	26,8	9,9	3,1	34,7	-19,9	7,5	38,8	13,0	3,5	8,3	-20,0	7,9	0,1	-0,4
Le Crès	Chevreuil 73	31,1	11,2	3,2	44,9	-20,6	6,4	43,4	14,8	3,4	13,0	-20,8	6,3	0,2	0,1
Coste Rouge	T1-Beaufort	35,2	12,7	3,2	42,3	-19,0	10,8	38,2	12,8	3,5	9,6	-19,3	11,4	0,3	-0,6
Moyenne (n = 100)		32,6	12,1	3,1	54,9	-19,5	7,1	39,1	13,1	3,5	18,0	-20,0	7,4	0,4	0,5
Ecart-type		6,5	2,4	0,2	35,3	0,8	1,5	8,2	2,9	0,1	17,8	0,7	1,8	0,4	0,6
Min.		5,0	1,4	2,3	9,0	-21,4	3,3	10,5	3,3	3,0	1,3	-21,8	2,6	0,0	0,0
Max.		43,3	15,8	4,1	171,8	-17,2	11,1	59,3	20,4	3,8	95,5	-18,1	12,3	2,6	3,0
Standards internationaux		$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\sigma \delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\sigma \delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\sigma \delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\sigma \delta^{15}\text{N}$ (‰)						
IAEA N1				0,50	0,12			0,51	0,03						
IAEA N2				20,30	0,13			20,42	0,12						
IAEA CH6						-10,45	0,12								
IAEA CH7															

Tab. 8. Résultats des proportions de carbone et d'azote, du rapport C/N, du rendement et des valeurs isotopiques du collagène extrait et analysé dans le laboratoire EPOC, et extrait au laboratoire MPI-EVA et analysé au laboratoire Iso-Analytical.

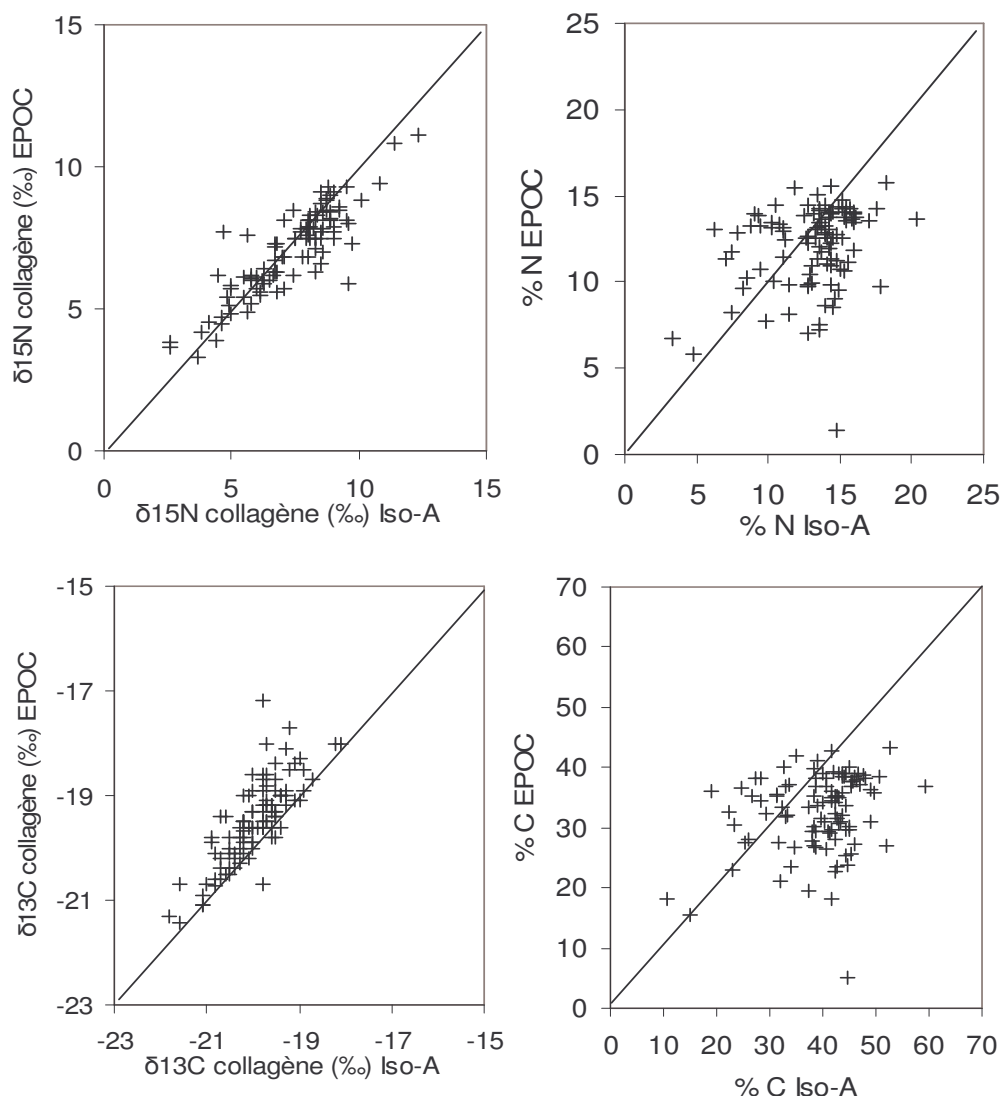


Fig. 16. Résultats des valeurs isotopiques et teneurs élémentaires du laboratoire EPOC en fonction du laboratoire Iso-Analytical.

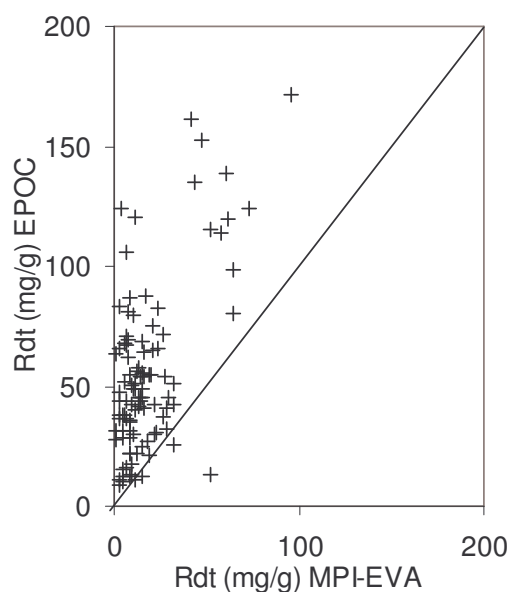


Fig. 17. Rendements d'extraction obtenus au laboratoire EPOC en fonction de ceux obtenus au laboratoire MPI-EVA.

Nous cherchons à vérifier s'il existe ou non des différences significatives entre les variables correspondant à l'état de conservation (Δ %C, Δ %N, Δ des rendements d'extraction, Δ des rapports C/N et les Δ des valeurs isotopiques) des binômes corrects et de ceux considérés comme étant de mauvais binômes. Afin de déterminer si la distribution des valeurs des différentes variables que l'on souhaite étudier est normale, le test de Shapiro Wilk a été utilisé. Les résultats du test statistique indiquent que quasiment aucune des variables ne suit la loi normale de distribution (annexe 12). Par conséquent nous avons choisi d'utiliser des tests statistiques non paramétriques pour les analyses statistiques.

b.2 Résultats de l'étude statistique

Le test statistique non paramétrique de comparaison de groupes d'échantillons indépendants, U de Mann-Whitney, a été utilisé. Pour chaque série (binômes corrects et binômes incorrects) de données, les différences de valeurs de chaque paramètre de conservation ont été calculées. La comparaison statistique réalisée entre les deux séries de données n'indique pas de différence significative, et ce pour chaque paramètre de conservation (annexe 13). Cette observation reste valide si l'on considère l'ensemble des échantillons ou uniquement les échantillons valides²⁶. De plus aucune corrélation forte n'est observable entre les différences de valeurs isotopiques et les différences de valeurs de C/N. Ce résultat est significatif. Ce résultat est

²⁶ Echantillons dont les critères de conservation sont correctes (% C, % N et C/N répondant aux exigences requises ; cf. § 6).

également correct si l'on considère strictement les bons binômes ou strictement les mauvais, mais aussi lorsque l'on considère uniquement les échantillons valides et les non valides (annexe 14). L'ensemble de ces analyses indique qu'il n'y a probablement pas de relation entre les différences de qualité du collagène (extraits par des méthodes distinctes) et les différences de valeurs isotopiques observées entre les deux méthodes d'extraction pour chaque échantillon.

Les échantillons extraits au laboratoire EPOC ont été analysés dans le même laboratoire, et ceux extraits au laboratoire MPI-EVA ont été analysés au laboratoire Iso-Analytical. Il existe un biais dans les résultats d'analyses exposés précédemment : les équipements d'analyse des deux laboratoires sont différents ainsi que les méthodes d'extraction. Or, les analyses statistiques réalisées ne peuvent pas distinguer l'influence éventuelle de chacun de ces paramètres sur les valeurs obtenues.

c. Comparaison du collagène répliqué dans deux laboratoires

L'utilisation des isotopes stables dans les disciplines de l'archéologie est récente (*cf.* § A-1) et les méthodes d'extraction ainsi que les équipements analytiques se sont améliorés et diversifiés depuis les vingt dernières années. Ainsi, aujourd'hui de nombreux laboratoires proposent la réalisation d'extraction de collagène osseux et dentaire ainsi que l'analyse isotopique de celui-ci. Les méthodes d'extractions ainsi que l'équipement analytique de ces laboratoires peuvent être différents, comme le montre le travail réalisé ci-dessus dans les laboratoires EPOC, Iso-Analytical et MPI-EVA. De fait, il est important pour l'anthropologue, mais également pour tout autre chercheur qui souhaite travailler à partir de cette méthode, de connaître les spécificités de chacune des méthodes d'extraction du collagène qui lui sont proposés et des différents spectromètres de masse isotopique qui peuvent être utilisés. Par ailleurs, ces informations techniques sont essentielles à connaître car elles sont nécessaires pour comprendre les résultats obtenus et pour déceler d'éventuels problèmes (*e.g.* faible rendement d'extraction, mauvaise qualité du collagène extrait). Finalement, pour une problématique donnée, se pose alors la question du choix technique par le chercheur.

Les résultats des analyses réalisées avec deux chaînes opératoires différentes nous a montré que les différences de valeurs isotopiques du carbone sur une même série d'échantillons peuvent s'étendre de 0 ‰ à 2,6 ‰ et celles de l'azote de 0 ‰ à 3,7 ‰. Il nous a donc paru important de voir si les différences de valeurs isotopiques observées sont plus particulièrement influencées par l'un ou l'autre des paramètres (équipement analytique, méthode d'extraction). Pour ce, **10 échantillons ont été sélectionnés** :

- le collagène de ces échantillons a été **extrait par les deux méthodes d'extraction** proposées par chacun des laboratoires EPOC et MPI-EVA ;

- chaque collagène (deux par échantillon) a été **analysé par les deux spectromètres** de masse isotopique présents dans chacun des laboratoires EPOC et Iso-Analytical.
- Ainsi, pour chaque échantillon **4 résultats isotopiques sont obtenus**, dans la mesure où les extractions ont été réussies.

c.1 Résultats obtenus par les différents équipements analytiques

A partir des résultats fournis par les deux spectromètres de masse isotopique, sur le collagène extrait à Bordeaux, on observe que les $\delta^{13}\text{C}$ obtenus au laboratoire EPOC sont plus élevés en général que ceux obtenus au laboratoire Iso-Analytical. En revanche les $\delta^{15}\text{N}$ et les teneurs en carbone et en azote sont en général plus bas au laboratoire EPOC qu'au laboratoire Iso-Analytical (annexe 17). De plus, on remarque une différence de valeurs isotopiques pour le carbone en moyenne de 0,6 ‰ ($\pm 0,2$) et pour l'azote de 0,2 ‰ en moyenne ($\pm 0,2$).

Sur le collagène extrait à Leipzig, on observe que le $\delta^{15}\text{N}$ et le % N obtenus au laboratoire EPOC sont en général plus élevés qu'au laboratoire Iso-Analytical et le % C est à l'inverse plus bas en général au laboratoire EPOC. Pour le $\delta^{13}\text{C}$ aucune tendance n'est mise en évidence (annexe 17). Sur ce collagène, les différences de résultats isotopiques sont en moyenne de 0,5 ‰ ($\pm 0,5$) pour le carbone et de 0,7 ‰ en moyenne ($\pm 0,4$) pour l'azote (Tab. 9).

Selon la méthode d'extraction employée, les différences de résultats entre les deux équipements analytiques ne vont pas dans le même sens. Les différences de résultats isotopiques entre les deux spectromètres sont plus importantes que la marge d'erreur spécifiée par l'étude des standards internationaux²⁷. Cette observation est également valable pour le collagène extrait par la méthode qui n'utilise pas l'ultrafiltration. Ces différences sont plus ou moins grandes selon les éléments chimiques étudiés. On constate également que selon l'échantillon étudié, la différence de valeurs isotopiques obtenues entre les deux spectromètres varie. L'un des facteurs pouvant être responsable de cette variation est l'état de conservation de la matière organique des ossements. Par conséquent, nous avons cherché à voir s'il existe des corrélations entre les différences de valeurs isotopiques obtenues et les différences de valeurs obtenues pour chaque paramètre d'état de conservation du collagène, pour chaque méthode, et notamment le C/N et le rendement d'extraction.

²⁷ L'écart-type (σ) des standards est $\leq 0,15$ ‰ pour le carbone et l'azote, et ce dans les deux laboratoires.

Sites	Echantillons	$\Delta \delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\Delta \delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\Delta \% \text{C}$	$\Delta \% \text{N}$	$\Delta \text{C/N}$	Rendement (mg/g)
Collagène extrait au laboratoire EPOC							
Montou	Adulte B	0,5	- 0,7	6,3	1,6	0,2	42,7
Montou	Chien 4	0,6	- 0,3	6,7	0,9	0,3	41,5
Montou	Mouton 6	0,9	- 0,1	2,8	0,3	0,3	114,2
Pendimoun	Cerf 1	0,7	0,2	6,6	1,0	0,4	152,5
Pendimoun	Bœuf 21192	0,4	0,2	6,0	1,0	0,3	124,3
Les Plots	Cerf	0,4	- 0,1	4,9	0,7	0,3	64,2
Les Plots	Suiné 4	0,4	0,2	6,3	1,8	0,1	71,7
Les Plots	St 1	<i>1,6</i>	<i>-0,2</i>	4,9	0,9	0,3	21,5
Le Crès	Sep 14	<i>1,6</i>	<i>0,8</i>	4,3	3,1	0,3	27,1
Le Crès	Sep 30	<i>2,0</i>	<i>-0,9</i>	4,1	1,0	0,1	69,6
Moyenne valeurs absolues (n = 7)		0,6	0,2	5,7	1,0	0,3	87,3
Ecart-type valeurs absolues		0,2	0,2	1,4	0,5	0,1	43,2
Min. valeurs absolues		0,4	0,1	2,8	0,3	0,1	41,5
Max. valeurs absolues		0,9	0,7	6,7	1,8	0,4	152,5
Collagène extrait au laboratoire MPI-EVA							
Montou	Adulte B	- 0,2	1,1	0,3	0,5	0,1	32,7
Montou	Mouton 6	- 0,3	0,3	2,4	0,3	0,1	16,2
Pendimoun	Cerf 1	0,8	1,1	1,2	1,1	0,2	47,1
Pendimoun	Bœuf 21192	0,8	0,2	0,3	0,6	0,1	72,9
Les Plots	Cerf	0,1	0,9	1,6	0,0	0,1	16,2
Les Plots	Suiné 4	0,4	0,7	0,1	0,5	0,1	27,0
Les Plots	St 1	0,1	1,3	0,4	0,7	0,1	18,9
Le Crès	Sep 14	0,6	0,9	1,3	0,2	0,2	18,0
Le Crès	Sep 30	1,5	0,1	2,5	0,4	0,1	7,4
Moyenne valeurs absolues (n = 9)		0,5	0,7	1,1	0,5	0,1	31,2
Ecart-type valeurs absolues		0,5	0,4	0,9	0,3	0,0	21,5
Min. valeurs absolues		0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	7,4
Max. valeurs absolues		1,5	1,3	2,5	1,1	0,2	72,9

Tab. 9. Résultats des différences (EPOC-Iso-A) de proportions de carbone et d'azote, du rapport C/N, du rendement et des valeurs isotopiques du collagène entre les spectromètres. Ces différences sont présentées en valeurs absolues exceptées pour les valeurs isotopiques. Les résultats inscrits en italique sont ceux dont la différence entre les deux méthodes d'analyses semble trop importante. Les valeurs rayées sont celles dont les échantillons ne respectent pas les critères de conservation.

Les analyses statistiques soulignent qu'il n'existe aucune corrélation significative entre les différences (en valeurs absolues) de valeurs isotopiques obtenues (sur les échantillons valides) et les différences observées entre les résultats de % C, % N, C/N et le rendement d'extraction selon les deux spectromètres. Cette remarque est valable autant sur le collagène extrait au laboratoire de Bordeaux que sur celui extrait au laboratoire de Leipzig (annexe 16). L'état de conservation du collagène extrait ne semble donc pas un facteur suffisamment pertinent pour justifier les différences de valeurs isotopiques observées. Cependant, très peu d'échantillons ont pu être comparés, ce qui est un biais indéniable pour une analyse statistique (*cf.* § E). Comme nous l'avons spécifié lors de la description des équipements analytiques (*cf.* § 5-e5), l'analyse de standards internationaux, spécifiques pour le carbone et l'azote, avec chaque spectromètre de masse isotopique indique que leur fiabilité analytique est similaire. Expliquer les différences de valeurs isotopiques obtenues reste donc problématique.

c.2 Résultats obtenus par les différentes méthodes d'extraction

Afin de cerner l'influence de la méthode d'extraction sur les mesures obtenues, les échantillons précédents traités suivant chaque protocole ont été analysés sur un même spectromètre. Les résultats liés à la comparaison entre les deux méthodes sont présentés ci-dessous (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Sites	Echantillons	$\Delta \delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\Delta \delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\Delta \%C$	$\Delta \%N$	$\Delta C/N$	Δ rendements (mg/g)
Spectromètre du laboratoire EPOC							
Montou	Adulte B	0,6	- 1,1	7,0	1,5	0,3	10,0
Montou	Mouton 6	0,5	- 0,3	2,2	1,2	0,1	48,0
Pendimoun	Cerf 1	- 0,3	0,0	11,3	3,4	0,2	44,7
Pendimoun	Bœuf 21192	- 0,3	- 0,4	7,4	1,6	0,3	56,2
Les Plots	Cerf	0,2	- 0,3	13,6	4,3	0,1	2,6
Les Plots	Suiné 4	- 0,2	0,0	11,4	3,6	0,1	105,4
Les Plots	St1	2,5	-1,1	19,3	6,3	0,2	51,4
Le Crès	Sep-14	1,1	-0,8	13,0	1,3	0,8	9,1
Le Crès	Sep-30	-0,1	-2,1	8,7	0,1	0,7	62,2
Moyenne valeurs absolues (n = 6)		0,4	0,4	8,8	2,6	0,2	52,6
Ecart-type valeurs absolues		0,2	0,4	4,1	1,3	0,1	30,7
Min. valeurs absolues		0,2	0,0	2,2	1,2	0,1	10,0
Max. valeurs absolues		0,6	1,1	13,6	4,3	0,3	105,4
Spectromètre du laboratoire Iso-Analytical							
Montou	Adulte B	- 0,1	0,7	0,4	0,6	0,2	10,0
Montou	Chien 4	- 0,2	0,2	5,4	1,3	0,1	28,1
Montou	Mouton 6	- 0,7	0,1	2,6	0,6	0,1	48,0
Pendimoun	Cerf 1	- 0,2	0,9	3,5	0,0	0,0	44,7
Pendimoun	Bœuf 21192	0,1	0,0	1,7	0,0	0,1	56,2
Les Plots	Cerf	- 0,1	0,7	10,3	3,6	0,0	2,6
Les Plots	Suiné 4	- 0,2	0,5	5,2	1,3	0,1	105,4
Les Plots	St1	1,0	0,4	14	4,7	0,0	51,4
Le Crès	Sep-14	0,1	-0,7	18,6	4,2	0,7	9,1
Le Crès	Sep-30	-0,6	-1,1	7,1	0,7	0,7	62,2
Moyenne valeurs absolues (n = 7)		0,2	0,4	4,2	1,2	0,1	49,1
Ecart-type valeurs absolues		0,2	0,3	3,3	1,2	0,1	29,5
Min. valeurs absolues		0,1	0,0	0,4	0,0	0,0	10,0
Max. valeurs absolues		0,7	0,9	10,3	3,6	0,2	105,4

Tab. 10. Résultats des différences (EPOC-MPI-EVA) de proportions de carbone et d'azote, du rapport C/N, du rendement et des valeurs isotopiques du collagène entre les deux méthodes d'extraction. Ces différences sont présentées en valeurs absolues exceptées pour les valeurs isotopiques. Les résultats inscrits en italique sont ceux dont la différence entre les deux méthodes d'extraction semble trop importante. Les valeurs rayées sont celles dont les échantillons ne respectent pas les critères de conservation.

À partir des données obtenues par le spectromètre du laboratoire EPOC, on remarque que les teneurs en carbone et en azote et le $\delta^{15}\text{N}$ sont plus basses au laboratoire EPOC que celles obtenues à partir de la méthode d'extraction utilisée au laboratoire MPI-EVA. Au contraire, le rendement d'extraction est plus élevé au laboratoire EPOC. Concernant le $\delta^{13}\text{C}$, aucune tendance ne se dégage (annexe 19). Par ailleurs, les différences de résultats isotopiques observées sont en moyenne de 0,4 ‰ ($\pm 0,2$) pour le carbone et de 0,4 ‰ ($\pm 0,4$) pour l'azote.

À partir des données obtenues au laboratoire Iso-Analytical, on observe que le $\delta^{13}\text{C}$ et les teneurs en carbone et en azote sont en général plus basses avec la méthode d'extraction utilisée au laboratoire EPOC que celles obtenues à partir de la méthode d'extraction utilisée au laboratoire MPI-EVA. Pour le $\delta^{15}\text{N}$, aucune tendance ne se dégage (annexe 19). De plus, les différences de résultats isotopiques sont en moyenne de 0,2 ‰ ($\pm 0,2$) pour le carbone et de 0,4 ‰ ($\pm 0,2$) pour l'azote.

Ici également, les différences observées entre les méthodes d'extraction varient selon l'équipement analytique utilisé. Toutefois, les teneurs en carbone et en azote obtenues sont toujours plus basses avec la méthode d'extraction utilisée au laboratoire EPOC qu'avec celle utilisée au laboratoire MPI-EVA. Cette remarque rejoint les observations réalisées sur la comparaison des deux chaînes opératoires (cf. § b.1).

Dans ce cas également, nous avons tenté de voir s'il existe une relation entre les différences de valeurs isotopiques et les différences de valeurs obtenues pour chaque paramètre de conservation (% C, % N, C/N et rendement). Les résultats de l'analyse statistique montrent qu'il n'existe pas de corrélation significative entre ces paramètres, avec le spectromètre du laboratoire Iso-Analytical. Cette observation est similaire pour les résultats obtenus avec le spectromètre du laboratoire EPOC, excepté qu'une corrélation significative entre l'écart des $\delta^{13}\text{C}$ et l'écart du % N a été mise en évidence (annexe 18). En effet, on observe que plus l'écart entre le % N du collagène obtenu par les deux méthodes d'extraction est grand, plus l'écart des résultats de $\delta^{13}\text{C}$ est élevé. Cependant, compte tenu du fait que cette observation n'est pas valable pour les autres critères de conservation (% C et C/N), proposer une hypothèse à la suite de ce résultat semble peu pertinent.

c.3 Synthèse de l'étude comparative

L'étude de la comparaison des résultats entre les techniques d'analyse et les méthodes d'extraction, montre très clairement qu'il **existe des différences de résultats isotopiques**²⁸, plus ou moins importantes selon les échantillons : de 0 ‰ à 2,5 ‰ pour le $\delta^{13}\text{C}$ et de 0 ‰ à 2,1 ‰ pour le $\delta^{15}\text{N}$.

L'influence de la méthode d'extraction est difficile à cerner car certains échantillons sont très bien répliqués indépendamment de la technique d'analyse et de la méthode d'extraction employée. **L'état de conservation du collagène peut être un facteur influençant des différences de résultats isotopiques, mais cette hypothèse n'a pas statistiquement été**

²⁸ Pour certains échantillons les résultats à la précision analytique près se recourent et pour d'autres non.

démontrée sur nos échantillons. Nous pouvons juste préciser que le collagène est une **molécule complexe, composée de différents acides aminés qui n'ont pas les mêmes valeurs isotopiques** (cf. § 4-c.). De fait, il est probable que la sélection de quelques molécules pour les analyses joue un rôle dans les valeurs obtenues. Ce rôle est très probablement atténué lorsque que le collagène est extrait par la méthode qui utilise l'ultrafiltration. Par ailleurs, seuls quelques échantillons (10) ont pu faire l'objet d'une double extraction et d'une double analyse ; il est par conséquent difficile de proposer des hypothèses à partir d'un si faible effectif. Enfin, malgré le biais du faible effectif, ce travail nous a permis de nous rendre compte qu'il est préférable, pour un projet et une problématique donnée, de **réaliser toutes les extractions de collagène avec un protocole identique et toutes les analyses isotopiques avec le même équipement analytique.**

3 - Valeurs isotopiques et interprétations anthropologiques : choix de présentation des données

Toutes les séries archéologiques n'ont pas pu faire l'objet de duplication en terme d'extraction et d'analyse. Par conséquent, les sites étudiés dans l'un ou l'autre des laboratoires (dans la mesure où l'état de conservation le permet) sont pris en compte avec leurs résultats spécifiques. Parmi les séries qui ont pu être étudiées avec deux méthodologies différentes, **tous les binômes n'ont pas pu donner de résultats** (manque de matière osseuse, manque de collagène, mauvais état de conservation), et **les séries sont parfois incomplètes**. Ainsi, selon les périodes et les sites considérés, une ou deux interprétations des analyses isotopiques sont proposées :

- concernant les phases anciennes du Néolithique, les extractions et les analyses ont été réalisées uniquement au laboratoire MPI-EVA et au laboratoire Iso-analytical. Toutefois, pour le site de Pendimoun une extraction et une analyse supplémentaire (sur la population humaine et la faune) a été réalisée au laboratoire EPOC. Dans ce dernier site, aucun reste humain n'a pu faire l'objet d'une extraction et d'une analyse dans les laboratoires MPI-EVA et Iso-Analytical.
- Pour les périodes du Montbolo et du Chasséen, les séries archéologiques ont pu être étudiées dans les deux laboratoires. Ainsi plusieurs études interprétatives sont présentées indépendamment pour chacune des séries.
- Enfin, pour l'étude diachronique, les résultats choisis sont ceux du laboratoire dans lequel le maximum d'échantillons de l'ensemble des périodes a pu être analysé (collagène extrait au laboratoire MPI-EVA²⁹). Ce choix est également fait par souci d'homogénéité, indispensable pour les analyses statistiques.

Remarque

La présentation de deux séries de résultats d'analyse (issues de collagène extraits par des méthodes différentes) pour chacun des sites ne permet ni une comparaison méthodologique, ni une comparaison des interprétations issues des résultats, dans la situation où les échantillons bien conservés issus de chaque méthode ne sont pas strictement les mêmes. En effet, certains échantillons ont fourni un collagène bien conservé au laboratoire EPOC, mais la méthode d'extraction utilisée à Leipzig n'a pas réussi à extraire suffisamment de collagène bien conservé pour être analysé. A l'inverse, d'autres échantillons extraits au laboratoire EPOC sont trop mal conservés et ont dû être exclus de la discussion alors que pour ces mêmes échantillons, le collagène extrait par ultrafiltration a fourni des résultats exploitables.

²⁹ Ce collagène a été analysé dans les laboratoires Iso-Analytical dans un premier temps et dans un second temps, si suffisamment de collagène était disponible, avec le spectromètre du laboratoire MPI-EVA. Lorsque les deux résultats sont présents, celui du laboratoire MPI-EVA est utilisé en priorité.

	Extraction EPOC	Extraction MPI-EVA	Analyses EPOC	Analyses MPI-EVA/Iso-A	Interprétation EPOC	Interprétation MPI-EVA/Iso-A
Pendimoun	×	×	×	×	×	
Unang		×		×		×
Sicard		×		×		×
Bourbon		×		×		×
Fontbrégoua		×		×		×
Rastel		×		×		×
Arene						
Candide		×		×		×
Montou	×	×	×	×	×	×
Les Plots	×	×	×	×	×	×
Le Crès	×	×	×	×	×	×
Coste						
Rouge	×	×	×	×	×	×

Tab. 11. Présentation du type d'extraction, d'analyse et d'interprétation qui ont pu être réalisés sur chacun des sites archéologiques étudiés.

* * *

Chapitre III - Les phases anciennes du Néolithique : étude des sites archéologiques

A - Le choix des sites archéologiques

1 - Répartition des sites archéologiques en région méditerranéenne

Les sites archéologiques choisis pour ce travail répondent aux exigences de la problématique, se situant près des côtes actuelles (mer Méditerranée), des montagnes (Alpes, Pyrénées) et des secteurs de plaine (Languedoc-Roussillon, Provence Alpes Côte d'Azur). D'autres sites dits « côtiers » sont actuellement sous les eaux, car le niveau de la mer a fluctué, faisant varier les lignes de côtes selon les régions depuis la fin du Mésolithique (Lambeck et Bard, 2000), et leur étude pour ce travail est malheureusement impossible. Cette région, écologiquement variée, fournit des sites archéologiques différents par leurs cultures (*Impressa*, Cardial, Epicardial, Vase à Bouche Carrée dit VBQ, Montbolo, Chasséen), mais aussi par leurs structures (abri, grotte, plein air). La présence de faune et d'individus en contexte sépulcral contemporains, est un critère de sélection pour cette étude. L'état de conservation du matériel anthropologique est également un facteur important, ainsi que la disponibilité de la documentation archéologique, archéozoologique, botanique et anthropologique (âge, sexe, pathologie, métrique).

De nombreux problèmes relatifs à l'acquisition des collections dans la zone étudiée se sont présentés. Certains assemblages potentiellement intéressants pour ce travail sont issus de fouilles anciennes. Ainsi de nombreuses interrogations sur la datation des individus, les relations stratigraphiques et l'exhaustivité des études anthropologiques et archéozoologiques se sont posées. Par ailleurs, les consolidations et les moulages anciens effectués sur le terrain peuvent rendre ces restes inutilisables pour des analyses isotopiques (nous n'avons pas d'information sur la nature chimique des produits utilisés qui peuvent perturber la composition isotopique du collagène). Ainsi, le choix des sites s'est vu réduit et modifié au cours des recherches, en particulier en raison des problèmes de stockage des collections anciennes (changements de dépôt au cours des dernières décennies, disparition ou perte). Cette situation est flagrante pour les restes humains du Néolithique. Cependant, quelques sites ont été bien conservés et ont pu être étudiés, c'est notamment le cas de la Baume Fontbrégoua, collection dans laquelle une douzaine d'individus humains sont présents. Il existe, pour le moment, à l'est du Rhône, peu de sites pour lesquels la présence de sépultures datant des phases anciennes du Néolithique est attestée (Paccard, 1993), avec plus ou moins de certitude :

- La Baume Fontbrégoua (Salernes, Var) ;
- la grotte Sicard (Châteauneuf-les-Martigues, Bouches-du-Rhône ; ? datation) : 5 sépultures dont une en bon état (Charles, 1951) ;

- l’abri Pendimoun (Castellar, Alpes-Maritimes ; Binder *et al.*, 1993) ;
- la grotte de Riaux (Estaque, Bouches-du-Rhône ; ? datation) : pas d’attribution cardiale certaine autre que le fait de la position repliée de l’individu (Escalon De Fonton, 1956) ;
- l’abri de Cortiou (Cortiou, Bouches-du-Rhône ; ? datation) : une mandibule avec un vase à décor cardial (Escalon De Fonton, 1956) ;
- l’abri n° 2 de Fraischamp (La Roque-sur-Pernes, Vaucluse ; Paccard, 1957) : squelette en très mauvais état d’un enfant du Cardial final ;
- Saint-Mitre (Reillane, Alpes-de-Haute-Provence) : attribution cardiale par la stratigraphie (Guilaine, 1975).

A l’ouest du Rhône, les sites cardiaux sont les suivants :

- la grotte Gazel, (Sallèles-Cabardès, Aude ; Guilaine, 1975) ;
- la Baume Bourbon (Cabrières, Gard ; Coste *et al.*, 1987) ;
- la Baume de Montclus (Montclus, Gard ; fouilles Escalon, Mésolithique ou Néolithique ancien).

La datation relative, autrement que par la stratigraphie, des sépultures dites cardiales est difficile, autant à l’est qu’à l’ouest du Rhône, (Bouville, 1993), ce qui implique que l’étude stratigraphique soit la plus rigoureuse possible et nous pouvons déjà dire à ce sujet que les terrains ne s’y prêtent pas forcément tous. L’approche de cette période n’est donc pas aisée et elle l’est encore moins pour les cultures les plus anciennes du Néolithique. En effet, il existe actuellement peu de sites datés du Néolithique ancien Cardial qui soient compatibles avec les exigences requises pour cette étude. Le constat est similaire en Provence et en Languedoc-Rousillon, et même si, pour les périodes qui nous intéressent, les sites archéologiques (et pas seulement anthropologiques) sont nombreux (notamment en Provence) « *la documentation souvent issue de fouilles anciennes, menées sans grande rigueur, est malheureusement dispersée ou inaccessible, voire perdue. Les études se sont essentiellement focalisées sur le matériel et n’ont abordé que superficiellement le problème de la finalité des sites* » (comm. pers. J. Buisson-Catil). Pour le Néolithique moyen, notamment Chasséen, les sites sont plus abondants. Il s’agit principalement de sites de plein air. Cependant la préservation de l’os sur les sites de plein air est souvent plus médiocre, ce qui rend parfois les analyses difficiles. Par ailleurs, en région provençale, peu de sites du Néolithique Chasséen existent (Les Martins, Roussillon, Vaucluse, comprenant 4 fosses sépulcrales ; comm. pers. J. Buisson-Catil).

2 - Choix des collections

Les collections choisies ont été sélectionnées grâce à l’aide, d’une part, de plusieurs anthropologues et préhistoriens des régions concernées et, d’autre part, des conservateurs de

musées et les personnels du Service Régional de l'Archéologie (S.R.A.) des régions Provence et Languedoc-Roussillon. L'ensemble archéologique qui a pu être étudié se compose de 11 sites (Fig. 18) sur lesquels des restes humains et animaux, soit en contexte sépulcral, soit des rejets de cuisine, sont disponibles : l'abri Pendimoun (Castellar, Alpes-Maritimes), la grotte d'Unang (Malemort-du-Comtat, Vaucluse), la grotte Sicard (Châteauneuf-les-Martigues, Bouches-du-Rhône), la Baume Bourbon (Cabrières, Gard). Pour les phases anciennes du début du Néolithique moyen : la Baume Fontbrégoua (Salernes, Var), le Rastel (Le peillon, Alpes-Maritimes) et les Arene Candide (Savona, Ligurie). Pour le Néolithique moyen Chasséen et Montbolo : la grotte de Montou (Corbères-les-Cabanès, Pyrénées-Orientales), les Plots (Berriac, Aude), le Crès (Béziers, Hérault) et Coste Rouge (Beaufort, Hérault). L'ensemble des informations archéologiques, archéozoologiques, archéobotaniques, sédimentologiques, stratigraphiques et bien sûr anthropologiques, disponibles, sont prises en compte pour la compréhension et l'analyse des données.

La répartition des sites archéologiques néolithiques dans le nord-ouest de la Méditerranée et le choix des sites en fonction de critères indispensables pour répondre à la problématique posée dans ce travail nous montrent qu'il existe une division des zones géographiques étudiées mais également une différence culturelle et sitologique. Ces différences sont bien entendu un biais pour l'étude diachronique proposée (*cf.* chap V), mais ne peuvent pas être évités pour le moment en raison de l'absence de site de plein air des phases anciennes du Néolithique dans le Sud-est de la France et en Ligurie et de site de grotte du Chasséen méridional.

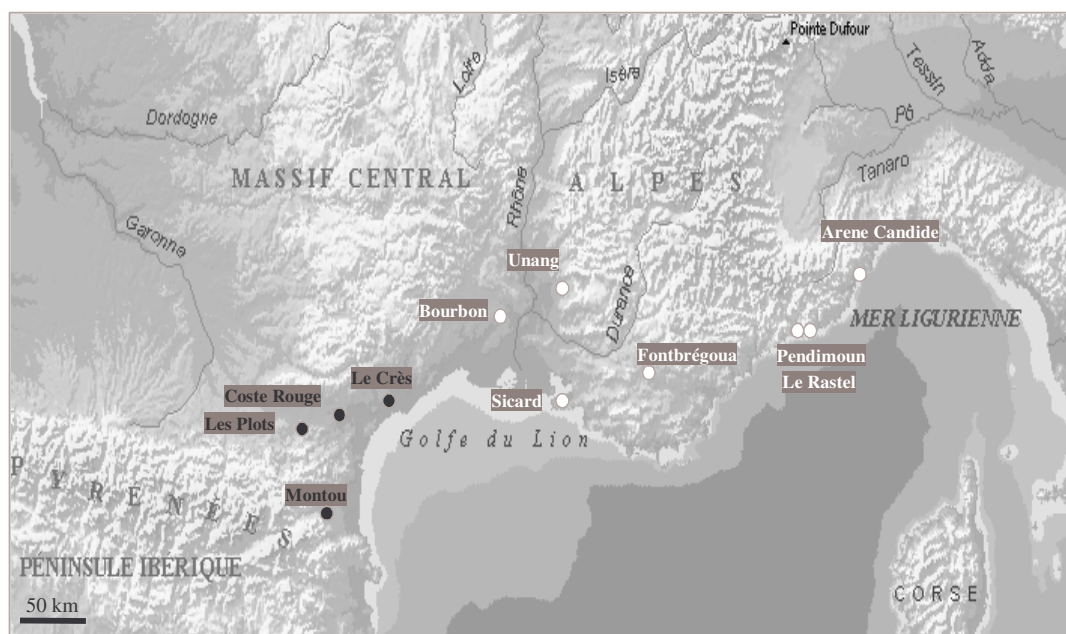


Fig. 18. Localisation des sites archéologiques sélectionnés. En blanc : sites datés des phases anciennes du Néolithique ; en noir : sites datés du Montbolo et du Chasséen.

B - Le Néolithique ancien Cardial

1 - L'abri Pendimoun (Castellar, Alpes-Maritimes, France)

a. Contexte archéologique

a.1 Le site archéologique

Le site de Pendimoun est un abri situé dans la commune de Castellar (Alpes-Maritimes) à 4 km de Menton (Fig. 19). Sa localisation est particulièrement intéressante puisque la mer est à 4 km, mais la grotte est située à 700 m d'altitude. Ce contraste géographique se retrouve également du côté italien où quelques grottes contenant des vestiges néolithiques ont été retrouvées. La zone abritée n'excède pas 200 m², mais les couches archéologiques s'étendent au-delà de l'abri. Ce site fut découvert en 1950 puis fouillé pour la première fois par l'équipe de L. Barral et du Musée d'anthropologie préhistorique de Monaco (1955-1956) et publié en 1958 dans le Bulletin du Musée (Barral, 1958). Les campagnes de fouilles suivantes ont été conduites par l'équipe de D. Binder depuis 1985 (Binder *et al.*, 1993) et continuent à ce jour. Le site de Pendimoun a livré les plus anciennes sépultures de la période cardiale dans le sud de la France. Elles ont été étudiées de façon complète et rigoureuse. Le matériel anthropologique est entreposé au dépôt archéologique de Pessac (Gironde) et au Musée d'anthropologie préhistorique de Monaco, dirigé par P. Simon.



Fig. 19. Localisation du site archéologique de Pendimoun, Castellar, Alpes-Maritimes, France.

a.2 Études archéologiques et environnementales réalisées

Au cours des dernières campagnes de fouilles, de nombreuses études archéologiques et environnementales ont été réalisées sur le site de Pendimoun. L'étude de la faune (par L. Gourichon et D. Helmer ; Binder *et al.*, 1993 ; Binder, 2003) dans les différentes phases du Néolithique ancien a mis en évidence une exploitation des ressources alimentaires très majoritairement tournée vers le petit cheptel domestique (caprinés) (Tab.), résultat confirmé par les analyses sédimentologiques (*cf.* Chap I § A-5-d), et une activité de chasse faible en particulier en ce qui concerne les carnivores (Binder *et al.*, 1993 ; Binder, 2003).

Taxons	Cardial ancien NR	(2003) %	Cardial final NR	(2003) %	Cardial indifférencié NR	(1993) %
Carnivores					4	
<i>Vulpes vulpes</i>					1	0,4
<i>Martes sp.</i>					2	0,8
<i>Felis sylvestris</i>					1	0,4
<i>Sus sp.</i>	13	6,3	55	14,9	29	12,3
Grand ruminant indét	6	2,9	11	3,0	5	
Boeuf	4	1,9	21	5,7	9	5,8
Cerf			1	0,3	1	0,6
Petit ruminant indét	114	55,1	172	46,5	56	
Caprinés indét	3	1,4	3	0,8		
Chevreuril					1	0,6
<i>R. rupicapra</i>			1	0,3		
<i>Ovis/Capra</i>	40	19,3	57	15,3	128	
Mouton	23	11,1	36	9,7	30	59,8
Chèvre	3	1,4	7	1,9	9	18,0
Lagomorphes indét			5	1,4	3	
Lièvre	1	0,5	1	0,3	3	1,3
Total	207	100	370	100	236	100
Grands ruminants	10	4,8	33	8,9	15	
Petits ruminants	183	88,4	276	74,6	185	
<i>Ovis (%)</i> pondérés	161,9	78,2	226,3	61,2		
<i>Capra (%)</i> pondérés	21,1	10,2	44	11,9		

Tab.12. Nombre de restes (NR) et fréquences des différents taxons terrestres présents au Cardial ancien et final du site de Pendimoun. Études réalisées par D. Helmer (Binder *et al.*, 1993) et L. Gourichon (Binder, 2003).

L'étude de la malacofaune marine (C. Cade dans Binder, 2003), élément essentiel sur ce site, est riche d'informations notamment pour plusieurs points : d'une part ce travail relate la présence d'espèces de mollusques associées à des algues marines qui auraient pu être utilisées comme litière (Vigié, 1985) ou complément alimentaire ; d'autre part la présence de nombreuses coquilles issues d'un grand nombre d'espèces, en particulier les patelles et les monodontes mais aussi de moules et de trochidés, attesterait de l'importance de ce type de ressource dans l'alimentation et pour la parure. Ces observations sont également valables pour les phases qui suivront le Néolithique ancien (Binder *et al.*, 1993 ; Binder, 2003).

Concernant la végétation, la chênaie caducifoliée domine dans l’environnement local du site (étude de S. Thiebault ; Binder *et al.*, 1993) indiquant un milieu fermé, et ce jusqu’au Néolithique moyen. La céréaliculture (blé, orge et amidonnier) est attestée sur le site par l’étude carpologique (Tab.) et dans l’ensemble, les végétaux sauvages et domestiques consommés sont variés (pois, lentilles, fruits, glands). Les différentes études archéologiques ont également montré que les périodes du Néolithique ancien *Impressa* et Cardial de ce site se caractérisent par des activités artisanales (céramiques et outils de potiers) (Binder, 2003) ; l’industrie lithique est bien attestée mais l’outillage poli est rare (Binder *et al.*, 1993).

	Cardial	Sép F1	Sép F2
Furca amidonnier	2	0	1
Blé tendre/dur	1	0	0
Blé indéterminé	1	0	0
Orge indéterminé	0	1	0
Céréales indéterminées	0	1	2 (fragments de graine)
Chêne	0	0	Fragment de graine
Gaillet	2	0	0
Caryophyllacée	2	0	0
Vesce	1	2	0
Légumineuses	1	0	0
Indéterminés	1	0	1

Tab. 13. Nombres de semences carbonisées présentes au Cardial et dans les sépultures des individus F1 et F2. Etude réalisée par S. Thiébault (Binder *et al.*, 1993).

a.3 Études anthropologiques réalisées

La première étude anthropologique a été réalisée sur le squelette masculin (« l’homme de Castellar » ou H1) découvert par L. Barral en 1955. Les fouilles plus récentes (1989) ont mis au jour deux autres individus, féminins : F1 et F2 (Fig. 20) et un autre individu masculin : H2 (comm. pers. H. Duday et D. Binder). L’étude des sépultures contenant les individus féminins a été réalisée par H. Duday (Binder *et al.*, 1993) ; un travail complémentaire a été effectué par L. Courtois (Courtois, 2000) sur trois de ces sujets. De ces travaux nous savons que les individus étaient inhumés en sépulture primaire avec une décomposition en espace colmaté (mise en évidence par la conservation de connexions anatomiques d’articulations dites labiles, telles que le rachis cervical, les jonctions costo-vertébrales) (Duday, 1987; 2005; 2006).



Fig. 20. Phases de la fouille de la sépulture 2 (Binder *et al.*, 1993).

Les individus sont inhumés dans des fosses avec un dispositif en pierre (Fig. 20). L'individu (homme H2) mis au jour pendant la campagne de fouille 2005 par H. Duday et D. Binder, sera étudié ultérieurement. L'étude biologique des trois premiers individus a mis en évidence des lésions (décrites par H. Duday), notamment crâniennes :

- Le crâne du squelette féminin de la sépulture F1 possède plusieurs lésions. Une perforation sur la partie postéro-médiane des os pariétaux, peut être due à une fracture ovale du crâne ou éventuellement un « *cranium bifidum occultum* » (défaut d'ossification congénital) (Courtois, 2000). Sur ce sujet une deuxième perforation crânienne d'origine traumatique (fracture) se situe sur le bord supérieur de l'os frontal.
- Le crâne de l'individu féminin de la sépulture F2 présente également une perforation d'origine traumatique sur le frontal, ayant pu entraîner la mort, et une autre perforation sur la suture pétro-squameuse.
- Enfin, le crâne de l'individu masculin H1 est marqué par quatre dépressions, dont l'une sur le frontal serait le résultat d'une infection.

b. Datations

Compte tenu de l'existence de différentes phases dans la période du Néolithique ancien et plus particulièrement de la représentation de ces phases sur le site de Pendimoun, il était très important d'effectuer une datation radiocarbone directement sur les ossements des défunts. Les résultats obtenus à la fin 2004 confirment l'appartenance des sépultures des individus féminins à l'horizon cardial ancien (Binder, 2005b) :

- pour la sépulture F1 : 5480-5370 BC cal³⁰. (Binder, 2005b),
- pour la sépulture F2 : 5480-5360 BC cal. (Binder, 2005b),

Une nouvelle datation sur l'individu masculin H1 est en cours³¹, et le résultat de celle effectuée sur l'individu masculin H2 indique que ce sujet est strictement contemporain des individus féminins F1 et F2 (résultat obtenu en septembre 2006 ; comm. pers. D. Binder). Toutefois, des restes osseux d'un individu identifié à l'origine comme appartenant à H1 ont été échantillonnés et datés d'une période plus récente : 4740 ± 40 BP³² (comm. pers. D. Binder), c'est-à-dire du Néolithique récent de la région (comm. pers. D. Binder).

c. Étude isotopique

c.1 Échantillonnage

L'échantillon se compose de quatre individus humains du Néolithique ancien et de 15 restes animaux des couches cardiales, regroupant des herbivores sauvages et domestiques (cerf, bœuf, mouton et chèvre) et des omnivores (suinés et blaireau). Les prélèvements sont effectués sur différentes parties anatomiques osseuses, sauf pour le blaireau, où c'est l'extrémité d'une racine dentaire qui a été prélevée. La détermination des pièces archéozoologiques a été réalisée par L. Gourichon et D. Helmer (GREMMO, Maison de l'Orient Méditerranéen à Lyon).

c.2 État de conservation de la matière organique

L'état de conservation des ossements de ce site a été au préalable étudié. Sur les 19 échantillons sélectionnés, 17 possèdent suffisamment de matière organique pour être analysés. Dans l'ensemble les proportions de carbone et d'azote dans la matière organique extraite sont correctes (Tab. ; Fig. 21) et s'étendent de 25,8 % à 38,9 % pour le carbone et pour l'azote de 9,5 % à 14,4 % (annexe 21).

³⁰ Les calibrations sont effectuées selon Bronk Ramsey (2000). *OxCal* v3.5 (Binder, 2005b).

³¹ Le résultat parvenu très récemment, mais qui doit être confirmé, indique que cet individu est plus récent que les autres *i.e.* du Néolithique moyen VBQ (comm. pers. D. Binder).

³² Cet échantillon ne sera pas traité directement dans la problématique de ce travail mais complètera les données concernant l'approche diachronique (*cf.* chap. V).

	% C	% N	C/N	Rendement d'extraction (mg/g)
Restes humains (n = 4)	36,6	13,2	3,2	94,0
Faune (n = 13)	33,9	12,5	3,1	95,2
Moyenne (n = 17)	36,6	13,2	3,2	93,5
Min	25,8	9,5	3,0	42,7
Max	38,9	14,4	3,2	189,7

Tab. 14. État de conservation du collagène des restes humains et animaux de Pendimoun

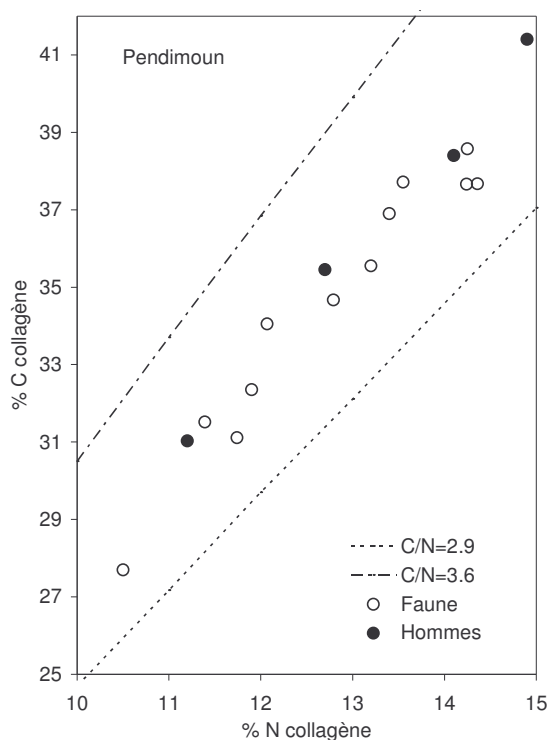


Fig. 21. Teneur en carbone et en azote du collagène des restes osseux (et dentaire) animaux et humains de Pendimoun.

c.3 Analyses isotopiques et interprétations

Plusieurs analyses ont été réalisées dans deux laboratoires différents (EPOC et MPI-EVA) et avec deux méthodes d'extraction différentes. Le choix des analyses pour les interprétations s'est dirigé vers celles réalisées à Bordeaux dans un souci d'homogénéité et de nombre d'échantillons (les duplicas réalisés à l'étranger ne sont pas effectués pour tous les échantillons en raison du manque de matière et des échecs d'extraction ; annexe 21).

	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	% C	% N	C/N
F1	- 19,5	8,0	31,0	11,2	3,2
F2	- 20,1	6,8	35,5	12,7	3,2
H1	-20,0	8,2	41,4	14,9	3,2
H2	-19,8	8,5	38,4	14,1	3,2
Bœuf 402	- 19,8	4,2	35,6	13,2	3,1
Bœuf 21192	- 19,3	4,8	37,7	14,4	3,0
Bœuf 21047	- 19,3	4,2	34,7	12,8	3,1
Chèvre 20955	- 19,1	5,1	31,1	11,7	3,0
Mouton 20984	- 20,8	3,8	37,7	13,6	3,2
Mouton 2449	-20,9	4,5	31,5	11,4	3,2
Mouton 3709	- 20	5,9	34,1	12,1	3,2
Suiné 352	- 20,1	5,1	36,9	13,4	3,2
Suiné 21605	- 19,6	5,2	37,7	14,2	3,0
Suiné 21575	- 19,7	6,0	25,8	9,5	3,1
Cerf 1	- 21,3	3,6	32,4	11,9	3,1
Cerf 21646	- 21,4	3,3	38,6	14,3	3,1
Blaireau 729	- 19,0	7,3	27,7	10,5	3,0

Tab. 15. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, % C, % N et C/N du collagène des restes osseux humains et animaux de Pendimoun.

Les animaux

Les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ du collagène des animaux s'étendent de $-21,4$ ‰ à $-19,0$ ‰ et celles de $\delta^{15}\text{N}$ de $3,3$ ‰ à $7,3$ ‰ (Tab. 15). Les données isotopiques enregistrées ne sont pas représentatives d'une consommation régulière de plantes marines, susceptible de composer le fourrage car les $\delta^{13}\text{C}$ enregistrés sont faibles. Les cerfs possèdent les $\delta^{13}\text{C}$ les plus faibles, caractérisant probablement la fréquentation d'un milieu plus fermé que les autres animaux du site. Les espèces herbivores domestiques (caprinés et bœufs) ont des $\delta^{13}\text{C}$ compris entre $-20,9$ ‰ et $-19,3$ ‰ ($-19,8$ ‰ $\pm 0,7$; $n = 7$) équivalentes à celles des suinés ($-19,8$ ‰ $\pm 0,3$; $n = 3$). Enfin, le blaireau possède le plus haut $\delta^{13}\text{C}$ ($-19,0$ ‰). Concernant les données isotopiques de l'azote, les herbivores domestiques ont des valeurs qui s'étendent de $3,8$ ‰ à $5,9$ ‰ ($4,6$ ‰ $\pm 0,7$; $n = 7$). Les $\delta^{15}\text{N}$ des suinés sont plus élevés que ces derniers, mais plus faibles que le $\delta^{15}\text{N}$ du blaireau ($7,3$ ‰). Les valeurs isotopiques de ce dernier caractérisent un régime alimentaire plus riche en protéines animales que les autres espèces du site.

La population humaine

Les individus F1, H1 et H2 ont des valeurs isotopiques homogènes ($\delta^{13}\text{C}$ de $-19,8$ ‰ ; $n = 3$; 1σ de $\pm 0,3$ et $\delta^{15}\text{N}$ de $8,2$; $n = 3$; 1σ de $\pm 0,2$), alors que l'individu F2 possède un $\delta^{15}\text{N}$ de $6,8$ ‰ et un $\delta^{13}\text{C}$ de $-20,1$ ‰, c'est-à-dire plus faibles que les autres individus. Il est possible que l'individu F2 ait eu une consommation moins importante de ressources animales (issues de la viande et/ou du lait). La présence de glands carbonisés dans une couche, recoupée par la sépulture 2, mais également de céréales cultivées sont les témoins d'une probable consommation

végétale plus importante pour certains individus de la population. Il faut également remarquer que F2 présente une perforation crânienne ainsi que des resserrements observés au niveau des chevilles et des poignets qui peuvent suggérer la présence de liens ; ces observations nous interrogent sur le statut de cet individu (étude de H. Duday) (Binder *et al.*, 1993). Enfin, nous pouvons observer que les $\delta^{15}\text{N}$ les plus élevés sont ceux des individus masculins (Fig. 22). Par ailleurs, l'un de ces derniers présente un bon nombre de pathologies auxquelles il a survécu (comm. pers. H. Duday, 2005) ; une étude anthropologique exhaustive est en cours et elle apportera probablement de nouveaux éléments pour la discussion.

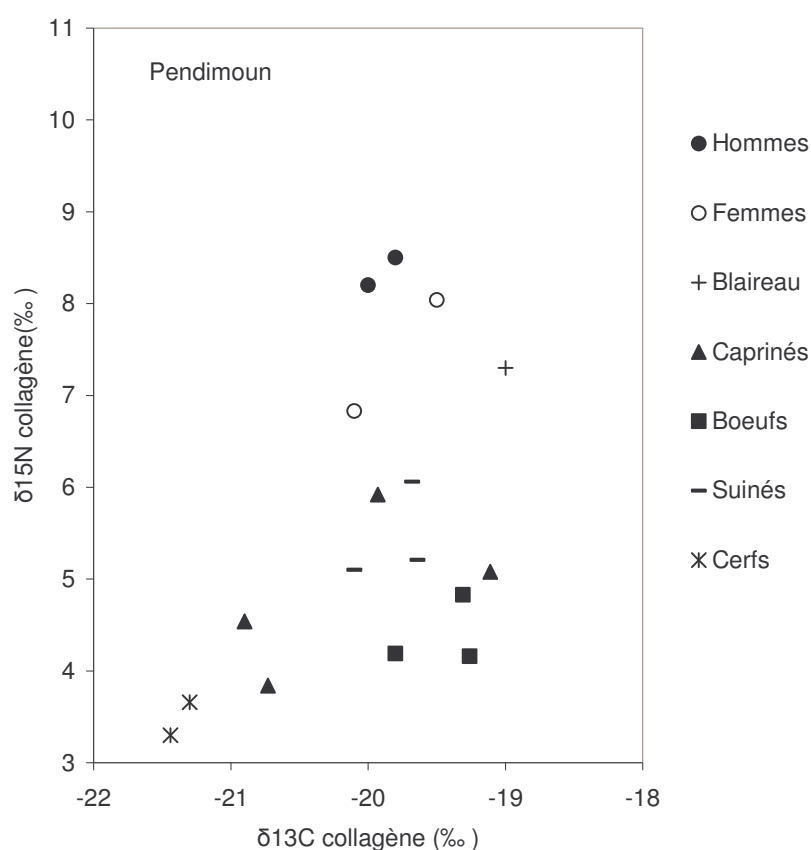


Fig. 22. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du collagène des restes osseux animaux et humains de Pendimoun .

Relation Homme/animal

Les valeurs isotopiques de l'azote de la population humaine sont plus élevées (de 3,0 ‰ ; $n = 4$; 1σ de $\pm 0,7$) que celles de la faune du site. En revanche leurs $\delta^{13}\text{C}$ (-19,9 ‰ ; $n = 4$; 1σ de $\pm 0,3$) est compris dans les valeurs existantes pour les autres espèces animales. Ces résultats indiquent que l'alimentation protéinique des individus du site se compose de produits mixtes (d'origine animale et végétale) et que la consommation de ressources riches en ^{15}N telle que la

viande semble importante. En revanche, les $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ observés chez ces individus ne sont pas suffisamment élevés par rapport à ceux du collagène de la faune terrestre pour signaler une consommation régulière de ressources d'origine marine (DeNiro, 1987).

La différence entre les valeurs isotopiques du collagène des humains et des différents taxons qui ont pu être analysés ($\Delta \delta^{13}\text{C}$ de 3,3 ‰ et $\Delta \delta^{15}\text{N}$ de 0,3 ‰) indique que les caprinés domestiques sont susceptibles de composer l'essentiel des protéines carnées consommées par les individus humains. Les hommes ont en moyenne des $\delta^{13}\text{C}$ plus faibles que les bœufs ce qui suggère que la consommation de ces derniers n'est pas importante. Cette observation est appuyée par les données archéozoologiques qui montrent que la faune terrestre consommée sur le site est dominée par les petits ruminants domestiques en particulier le mouton.

Concernant la consommation des animaux sauvages, peu de restes osseux de ces animaux ont été retrouvés sur le site et par conséquent peu d'analyses ont pu être réalisées. Les valeurs isotopiques du carbone des cerfs sont proches de celles des animaux domestiques ; en revanche leur $\delta^{15}\text{N}$ sont plus faibles. Concernant le blaireau, son $\delta^{13}\text{C}$ est équivalent à ceux de la faune domestique et son $\delta^{15}\text{N}$ est dans la variabilité des valeurs enregistrées chez les individus humains. Par conséquent, connaître la part des ressources sauvages carnées tels que des cervidés ou du blaireau n'est pas possible par l'étude isotopique.

Analyse comparative des données biologiques

L'effectif réduit de la population de Pendimoun ne nous permet pas de comparer statistiquement l'ensemble des données biologiques aux valeurs isotopiques. Toutefois certaines remarques méritent notre attention. La première concerne le sexe des individus. On note en effet d'une part que les $\delta^{15}\text{N}$ les plus élevés sont enregistrés dans le collagène des sujets masculins, et d'autre part que l'individu pour lequel le $\delta^{15}\text{N}$ le plus faible est enregistré, se distinguant clairement des autres individus, est une femme. La deuxième concerne l'âge au décès. L'adulte le plus jeune, encore une fois le sujet féminin F2, possède en effet le $\delta^{15}\text{N}$ plus faible (de 1,5 ‰) que les autres adultes du groupe.

d. Synthèse de l'étude de Pendimoun

Le site de Pendimoun possède des restes osseux humains et animaux qui ont permis d'effectuer des analyses isotopiques sur la matière organique. Le faible nombre d'échantillons (humains et animaux) à ce stade de l'étude ne nous permet pas d'apporter des informations précises sur les modes de subsistance des individus de ce site, mais les quelques données obtenues suscitent un certain nombre de remarques :

- la population humaine analysée semble avoir une économie de subsistance dirigée vers la consommation de ressources terrestres, en particulier vers les caprinés domestiques. En effet, la consommation de produits marins reste probablement occasionnelle puisque la signature isotopique du groupe humain ne s'en trouve pas marquée ; à la suite de ce résultat, le collagène extrait pour l'analyse isotopique a pu être daté avec fiabilité. Par ailleurs, l'étude malacologique (effectuée par C. Cade) mettant en évidence une consommation non négligeable de produits marins pour cette période, nous fait réfléchir quant à la mise en regard de ces données avec celles issues des analyses isotopiques. Il n'en reste pas moins que les populations du Néolithique ancien Cardial sont « semi-nomades », et il est possible que les quelques individus étudiés ne représentent pas l'ensemble de la communauté. Cette hypothèse est d'autant plus intéressante que la présence des nombreuses pathologies sur ces individus pose la question d'un recrutement spécifique des individus qui ont été inhumés sur ce site (comm. pers. D. Binder).
- On observe par ailleurs qu'il existe une différence de $\delta^{15}\text{N}$ entre l'individu féminin F2 et les autres individus humains. Cette observation suggère des choix alimentaires différents en ce qui concerne les proportions de protéines animales consommées.

Compte tenu du faible nombre d'échantillons par espèce analysée, les interprétations proposées restent des hypothèses à étayer. Les espèces fauniques doivent faire l'objet d'un plus grand nombre d'analyses pour mieux cerner la variabilité isotopique de ces espèces.

2 - La grotte d'Unang (Malemort du Comtat, Vaucluse, France)

a. Contexte archéologique

a.1 Le site archéologique

Le site archéologique de la grotte d'Unang (Fig. 23) fut découvert en 1947 puis fouillé jusqu'en 1949. Ces premières fouilles ont mis en évidence la vocation funéraire de la grotte, mais c'est à leur reprise en 1976 que la partie sépulcrale du Néolithique ancien fut étudiée. Les ensembles et les fosses datés du Néolithique sont au nombre de 12 dont 8 font partie du Néolithique ancien cardial. Une partie de la collection anthropologique et l'ensemble de la collection archéozoologique se trouvent actuellement au Musée E. Réquien à Avignon sous la direction de E. Crégut.



Fig. 23. Localisation du site archéologique de la grotte d'Unang, Gorges de la Nesques, Vaucluse, France.

a.2 Études archéologiques et environnementales réalisées

Plusieurs études ont été réalisées à Unang, permettant de mieux connaître l'environnement des populations du Néolithique. L'étude anthracologique de la grotte fait part d'une présence importante du buis par rapport à la chênaie au Néolithique, témoignant d'une emprise de l'Homme importante sur le milieu (Vernet *et al.*, 1987) ; témoignage également étayé par l'étude pollinique qui suggère la présence d'un environnement ouvert (Bui-Thi-Mai, 1993). La malacofaune présente dans la grotte pour les périodes néolithiques est très majoritairement terrestre. L'étude malacologique permet d'avoir des informations écologiques, et montre que les espèces marines présentes sont méditerranéennes mais ne sont pas alimentaires (Granier, 1993a ; 1993b). La présence de quelques rongeurs, comme l'espèce de campagnol *Microtus cabreræ* dans le niveau cardial, témoigne, ici encore, du caractère méditerranéen de l'environnement (Michaux, 1993). Concernant l'étude aviaire, les restes d'oiseaux présents sur le site sont

principalement des espèces vivant en milieux boisés (Mourer-Chauviré, 1993). Enfin, pour compléter l'approche environnementale, l'étude des restes herpétologiques signale une faune peu nombreuse, mais fait mention de la présence de la tortue cistude et du lézard ocellé qui témoignent d'un climat plutôt sec de la région (Cheylan, 1993).

Les informations obtenues sur l'alimentation sont principalement apportées par les travaux archéozoologiques réalisés sur des couches du Néolithique dit ancien (Poulain-Josien, 1993). Les proportions relatives d'espèces sauvages et domestiques varient au cours du Néolithique ancien. Les premières dominent l'assemblage faunique au début du Cardial et diminuent très rapidement au profit de la faune d'élevage, dominée par les caprinés, en particulier le mouton (Fig. 24 ; Tab.). Toutefois, sur l'ensemble du Néolithique ancien la faune sauvage est bien représentée sur le site d'Unang, autant en quantité (32 % des individus) qu'en nombre d'espèces (Fig. 24). Les proies sauvages sont exploitées pour l'alimentation et l'élaboration de produits telles que les peaux et les fourrures (*ibid.*). En revanche, l'orientation de l'exploitation du cheptel domestique n'est pas connue en raison de l'absence d'étude précise sur l'âge d'abattage des animaux.

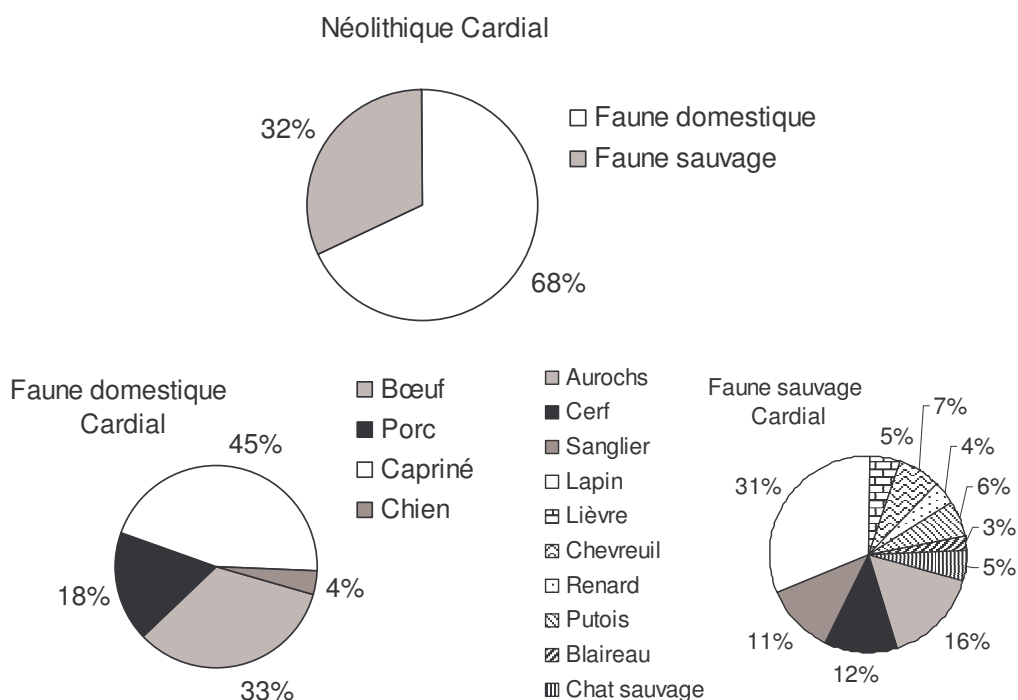


Fig. 24. Proportions d'individus de faunes sauvages et domestiques dans la totalité des ensembles du Néolithique. Etude de Poulain-Josien (1993).

Taxons	Ensembles du Néolithique ancien cardial															
	10		9		8		Fosse VIII-8		7		Fosse X-7		6		5	
	NR	%	NR	%	NR	%	NR	%	NR	%	NR	%	NR	%	NR	%
Bœuf	4	7,7	11	39,7	102	17,1	11	10	308	26,2	158	40	152	24,1	132	27,6
Porc	4	7,7	26	19,4	96	16,2	6	10	57	14,3	5	6,7	42	12,1	37	15,5
Capriné	10	23,1	90	32,2	323	36,9	26	40	229	31,2	18	26,7	187	43,0	156	31,0
Chien			15	3,2	13	2,7			10	3,6			7	1,7	14	1,7
Faune domestique		38,5		64,5		73,0		60,0		76,2		73,0		81,0		75,9
Aurochs	1	7,8														
Cerf	9	15,4	15	6,4	8	2,7	4	5	18	4,8	4	6,7	12	3,4	8	3,4
Sanglier	4	15,4	1	3,2	10	5,4	4	10	9	2,4			8	1,7	13	1,7
Lapin	18	23,1	17	16,1	88	13,5	50	20	4	11,9	4	20	28	6,9	43	13,8
Lièvre									4	2,4			3	3,4	3	1,7
Chevreuil	1	7,7	2	3,2	1	0,9							1	1,7		
Renard					3	2,7			1	1,2					13	1,7
Putois					2	0,9	2	5								
Blaireau					2	0,9			1	1,2					2	1,7
Chat sauvage			2	3,2									4	1,7		
Cheval																
Faune sauvage		61,5		35,5		27		40,0		23,8		27,0		19,0		24,1
Très jeunes animaux			5	16,12	11	9,90	Quelques	8	9,52			7	12,06	5	8,62	
Jeunes animaux	2	15,38	4	12,88	15	13,51	Quelques	16	9,04	2		11	18,96	13	22,41	
Animaux adultes	11	84,62	22	70,96	85	76,57	Majorité	60	71,42	Majorité		40	68,96	40	68,96	

Tab. 16. Nombre et proportions de restes de différents taxons domestiques et sauvages et par âge identifiés dans les ensembles du Néolithique ancien cardial. Étude de Poulain-Josien (1993).

Concernant les éléments archéologiques, quelques objets en os, principalement effectués sur des métapodes de caprinés, ont été retrouvés dans les couches cardiales : ce sont des poinçons et des objets tranchants (Camps-Fabrer, 1993). Des éléments fragmentaires de pierres polies sont également présents pour cette période ainsi que plusieurs éléments de broyage (Ricq de Bouard, 1993). Parmi ces éléments, seuls deux fragments de meules dormantes proviennent du Néolithique ancien ce qui, d'après l'auteur, montre une activité de mouture réduite pour cette période (Marchesi, 1993).

a.3 Études anthropologiques réalisées

Plusieurs sépultures individuelles ont été étudiées par C. Bouville en 1993 et ce corpus est complété par des sépultures partielles dont l'attribution chronologique n'est pas évidente (Paccard, 1993). Trois sépultures individuelles en fosses ont été retrouvées dans les couches attribuées au Néolithique ancien et sont étudiées dans ce travail :

- Une sépulture cardiale ou épocardiale, E.F.-5.6-7, avec un squelette, couché sur le côté droit en position repliée et encerclé par des pierres ; la présence d'une cuvette d'inhumation est possible. Le matériel qui accompagne le défunt est composé de tessons, quelques-uns avec un décor cardial, et de silex. D'après l'étude anthropologique (*ibid.*),

l'individu est un sujet jeune, dont les os du bassin semblent de type masculin. Nous prendrons uniquement en compte que cet individu est un enfant âgé entre 12 et 15 ans.

- La sépulture 79-J-4-8 : l'individu est un enfant déposé dans une cuvette. Quelques tessons, dont certains sont imprimés avec une coquille, des silex, une perle discoïde sur coquille et une sagaie constituent le matériel retrouvé à proximité. Cette sépulture est rapportée au Néolithique ancien, 4000 BC environ, d'après la stratigraphie, soit « Cardial » d'après l'auteur (Paccard, 1993). Les restes osseux sont très fragmentés. Seuls les restes post-crâniens sont préservés, appartenant à un enfant, peut-être de sexe féminin d'après la forme du bassin (Bouville, 1993). Pour ce travail nous prendrons uniquement en compte le fait qu'il s'agisse d'un individu immature d'environ dix ans (*ibid.*).
- La sépulture 80 G.H.-4.5-10, présente l'individu le mieux conservé. Aucun dépôt funéraire n'est attesté et cette sépulture serait soit du Cardial le plus ancien de la cavité soit peut-être de la période Mésolithique. L'étude du bassin et du crâne attribue un sexe féminin à cet individu. L'âge estimé est de 30-35 ans d'après « *l'état de synostose des sutures crâniennes et le degré d'usure dentaire* » (Bouville, 1993) (p. 116). Dans cette étude nous prendrons uniquement en compte qu'il s'agit d'un individu adulte probablement féminin. L'usure dentaire est peu importante exceptée pour les deux incisives supérieures gauches et la troisième molaire supérieure gauche, qui sont très usées. La stature de cet individu a été estimée à 155 cm environ (Fig. 25).

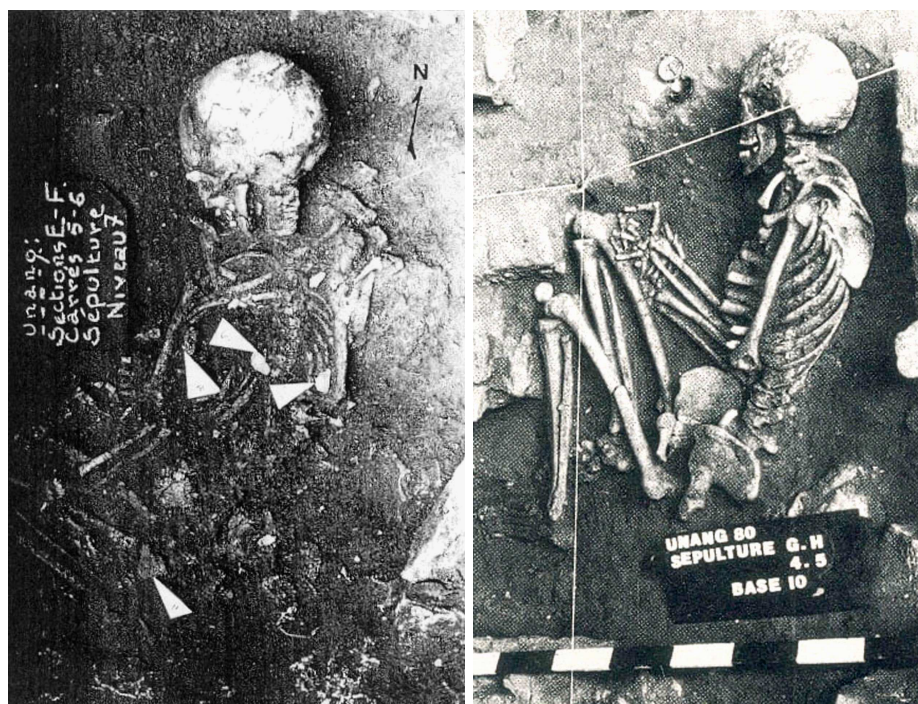


Fig. 25. Sépulture E.F.-5.6-7 (gauche) et sépulture 80 (droite) du site d'Unang (Bouville, 1993)

b. Datations

Des datations radiocarbone ont été effectuées sur charbon de bois dans les différents ensembles de la grotte. Les couches déterminées comme « cardiales » ont été datées entre 5950 BP et 3850 BP (Paccard, 1993), soit d'après les travaux de Paccard aux alentours de 4000 BC³³ (*ibid.*). Cette datation correspondrait, d'après Paccard (1993), à la phase terminale du Cardial. Plus précisément, l'ensemble 9 a été daté de 5950 ± 130 BP (Gif 1776) (soit 5208-4546 BC cal.) (Bui-Thi-Mai, 1993) et l'ensemble 6, un des plus récents du Néolithique ancien, de 5900 ± 130 BP (Gif 1774) (*ibid.*) (soit 5060-4460 BC cal.). Aucune datation radiocarbone sur les ossements humains n'a été réalisée jusqu'à présent. Une datation sur un échantillon osseux de la sépulture 80 G.H.-4.5-10 a été engagée et nous attendons actuellement le résultat afin de confirmer ou d'infirmer la possibilité d'une attribution mésolithique au squelette féminin ; hypothèse proposée par Paccard (1993) lors de l'étude stratigraphique, mais qui reste à préciser.

c. Étude isotopique

c.1 Échantillonnage

Chaque sépulture individuelle a été échantillonnée (avec l'aide de E. Crégut et C. Bouville). Les pièces archéozoologiques ont été sélectionnées, par E. Crégut, principalement dans les niveaux attribués au Néolithique ancien du site. L'échantillon se compose de 10 pièces osseuses, essentiellement d'herbivores domestiques (bœuf et capriné) et d'animaux sauvages (cerf et sanglier).

c.2 État de conservation de la matière organique

Les échantillons d'Unang ont uniquement été étudiés dans les laboratoires MPI-EVA et Iso-Analytical. Le collagène extrait de l'ensemble des ossements comporte des proportions de carbone et d'azote correctes, lesquelles s'étendent de 29,9 % à 49,2 % pour le carbone et de 9,5% à 16,8 % pour l'azote (Tab. ; Fig. 26).

	% C	% N	C/N	Rendement d'extraction (mg/g)
Restes humains (n = 2)	37,5	12,0	3,6	7,7
Faune (n = 10)	39,3	13,9	3,3	18,6
Moyenne (n = 12)	38,9	13,4	3,4	15,3
Min	29,9	9,5	3,1	0,3
Max	49,2	16,8	3,7	40,4

Tab. 17. État de conservation du collagène des restes humains et animaux d'Unang.

³³ A notre connaissance, aucune publication ne fait mention de précisions sur la calibration et la référence des datations. Les dates BC cal. proposées en italique ont été calculées d'après Oxcal 4.0 (<http://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal/>).

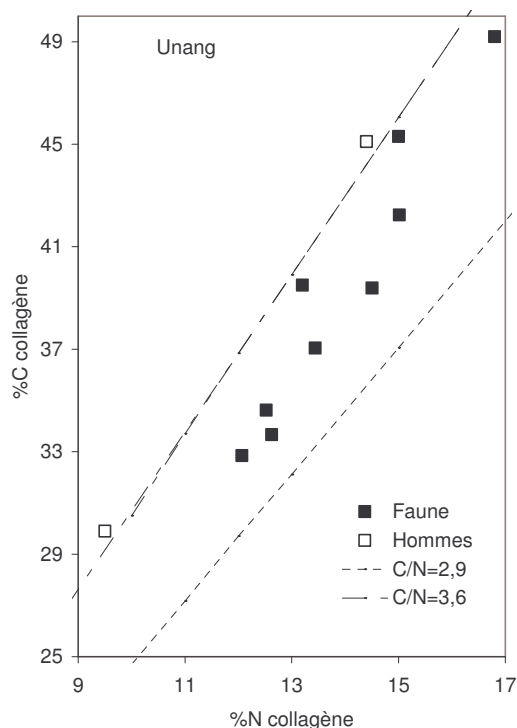


Fig. 26. Teneur en carbone et en azote du collagène des restes osseux animaux et humains d'Unang.

c.3 Analyses isotopiques et interprétations

Sur 13 échantillons initialement présents, seuls 10 possèdent de la matière organique correctement conservée, dont un seul individu humain (Tab. 18).

	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	% C	% N	C/N
Sépulture 80 GH 4-5	-21,0	8,4	45,1	14,4	3,6
Bœuf E1	-21,4	5,7	39,4	14,5	3,2
Bœuf 3	-21,3	5,8	34,6	12,5	3,2
Bos sp. 104	-20,1	6,0	33,7	12,6	3,2
Capriné EFG	-20,8	3,8	39,5	13,2	3,5
Capriné 113	-20,7	4,6	37,0	13,4	3,2
Sanglier 12	-19,5	1,8	32,9	12,1	3,2
Cerf 1	-20,0	4,8	49,2	16,8	3,4
Cerf 2	-20,2	1,9	42,2	15,0	3,3
Cerf 54	-20,1	1,7	45,3	15,0	3,5

Tab. 18. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, % C, % N et C/N du collagène des restes osseux humains et animaux d'Unang.

Les animaux

D'une manière générale, les espèces animales se distinguent isotopiquement les unes des autres ; une relation négative entre le $\delta^{15}\text{N}$ et le $\delta^{13}\text{C}$ du collagène osseux de chaque groupe

faunique est observée (Fig. 27). Les bœufs possèdent des $\delta^{15}\text{N}$ plus élevés que les autres animaux mais des $\delta^{13}\text{C}$ plus faibles, alors que les espèces sauvages (cerf et sanglier) ont à l'inverse les plus bas $\delta^{15}\text{N}$ et les plus haut $\delta^{13}\text{C}$ parmi l'ensemble de la faune du site. Des différences de consommation de végétaux sont probables entre les groupes. Les animaux domestiques ont pu acquérir leur nourriture dans des espaces plus fermés que les animaux sauvages ; ces derniers ont pu se nourrir en lisière de forêt, et éventuellement consommer des végétaux fixateurs d'azote (dont le $\delta^{15}\text{N}$ est faible ; *e.g.* vesces, gesses, trèfle), ou consommer des végétaux poussant sur des terrains dont les conditions édaphiques diffèrent (*e.g.* sol acide). L'hypothèse d'activités cynégétiques dans des zones géographiquement et géologiquement différentes de celles où se sont nourris les animaux domestiques n'est pas à écarter. Au sein de chaque groupe d'espèce animale, on observe des variations plus ou moins importantes, mais plus particulièrement en ce qui concerne le $\delta^{15}\text{N}$ chez les cerfs. Cette variation peut être expliquée par la fréquentation de milieux différents par les espèces chassées et/ou par des différences chronologiques entre ces animaux ; la plupart des échantillons ont certes été sélectionnés dans des couches différentes, mais principalement du Néolithique.

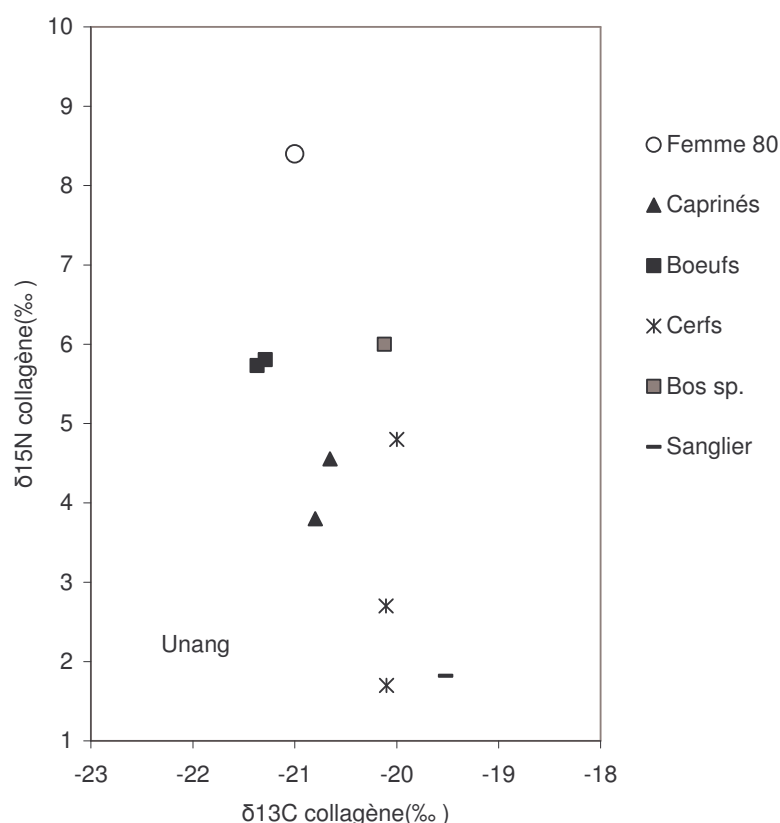


Fig. 27. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du collagène des restes osseux animaux et humains d'Unang.

Relation Homme/animal : le cas de l'individu 80

L'individu féminin d'Unang possède un $\delta^{15}\text{N}$ du collagène plus élevé que les groupes fauniques, de + 2,6 ‰ avec les bœufs, de + 4,2 ‰ avec les caprinés et de + 4,8 ‰ en moyenne avec les animaux sauvages (Fig. 27), suggérant que l'essentiel des protéines de son alimentation sont animales. Au niveau du $\delta^{13}\text{C}$, cet individu se situe dans les valeurs les plus faibles des espèces animales et proche de celles des boeufs. Généralement, on peut observer de faibles $\delta^{13}\text{C}$ chez les animaux qui puisent leurs ressources en milieux fermés et il n'est donc pas impossible que l'individu féminin d'Unang ait eu une consommation importante de ressources issues de ce type de milieu, peut-être des ressources sauvages. Cette hypothèse peut être appuyée par les résultats de l'étude archéozoologique, qui soulignent une activité de chasse encore bien présente au Néolithique ancien (Poulain-Josien, 1993). Toutefois, cette dernière est difficile à étayer par les analyses isotopiques puisque dans le cadre de notre échantillonnage les animaux sauvages analysés ont des $\delta^{13}\text{C}$ plus élevés que les animaux domestiques. Une autre hypothèse serait la consommation de ressources carnées issues des espèces herbivores domestiques, en particulier des boeufs. En effet, sur ce site la différence de $\delta^{13}\text{C}$ entre l'individu féminin et les bœufs est de + 0,3 ‰ en moyenne (avec l'ensemble bœufs/caprinés + 0,0 ‰), et la différence de $\delta^{15}\text{N}$ entre l'individu féminin et les bœufs est de + 2,6 ‰ en moyenne (avec l'ensemble bœufs/caprinés + 3,4 ‰). Même s'il n'a pas l'importance des caprinés dans l'assemblage faunique du site, le bœuf est l'une des espèces domestiques les mieux représentées, composant 33 % de la faune domestique au Néolithique ancien (Fig. 24). Une autre hypothèse également intéressante est celle de la consommation de ressources dulcicoles. Cette dernière est possible d'une part compte tenu du $\delta^{15}\text{N}$ élevé de la femme d'Unang par rapport à la faune étudiée sur le site et d'autre part en raison de la présence de restes de tortues (cistude et clemmyde ; Cheylan, 1993).

d. Synthèse de l'étude de la grotte d'Unang

La matière organique des restes humains du site d'Unang est très mal conservée, contrairement à celle de la faune et nous n'avons pu étudier qu'un seul individu, ce qui limite les informations sur l'alimentation humaine dans le site. Deux points ressortent cependant :

- nous avons pu remarquer que les valeurs isotopiques des taxons domestiques et sauvages sont très distinctes avec des valeurs les plus élevées en $\delta^{13}\text{C}$ et des valeurs les plus basses en $\delta^{15}\text{N}$ pour la faune sauvage. Ces espèces fréquentaient probablement des milieux différents.
- L'individu féminin d'Unang possède la valeur de $\delta^{15}\text{N}$ la plus élevée mais l'une des plus faibles en ce qui concerne le $\delta^{13}\text{C}$. Le $\delta^{15}\text{N}$ de cet individu nous indique une consommation de protéines animales probablement importante, puisque sa place dans le réseau trophique est bien supérieure à la faune du site. L'importance du bœuf dans les

ressources carnées consommées est possible mais elle reste à étayer avec d'autres analyses sur cette espèce. Le $\delta^{13}\text{C}$ enregistré chez cet individu peut également refléter une consommation de ressources de sous-bois et/ou dulcicoles. Concernant cette dernière hypothèse, il faut noter que la tortue cistude (*Emys orbicularis*), présente sur le site, est une espèce dont la consommation n'est pas rare au Néolithique (Cheylan et Courtin, 1976). Nous ne possédons pas de valeurs isotopiques pour cette dernière sur ce site actuellement ; un échantillonnage pourrait être effectué ultérieurement.

Une datation radiométrique de l'individu 80 d'Unang est en cours. Le résultat apportera des éléments de réponse quant aux types de ressources susceptibles d'avoir été consommées. En effet, si cet individu est mésolithique alors la comparaison de ses valeurs isotopiques à celles de la faune domestique du site n'est pas pertinente.

3 - La grotte Sicard (Châteauneuf-les-Martigues, Bouches-du-Rhône, France)

a. Contexte archéologique

a.1 Le site archéologique

La grotte Sicard fait partie d'un ensemble de grottes, dites sépulcrales, du Castellans de Châteauneuf-les-Martigues (Bouches-du-Rhône ; Fig. 28), Sicard étant le nom de l'inventeur du gisement (Charles, 1951). L'étude de cette grotte, principalement constituée d'un couloir, a été uniquement réalisée par R.P. Charles (1951). Les restes osseux humains et animaux sont actuellement conservés au Musée de Châteauneuf-les-Martigues sous la direction de J. Giry. Cette collection anthropologique n'ayant pas fait l'objet d'une nouvelle étude depuis celle de Charles en 1951, les ossements humains sont restés dans des sachets contenant un numéro et parfois une indication sur le sexe de l'individu.



Fig. 28. Localisation du site archéologique de la grotte Sicard, Castellans de Châteauneuf-les-Martigues, Bouches-du-Rhône, France.

a.2 Études archéologiques et environnementales réalisées

Très peu d'études ont été réalisées sur le matériel lithique, céramique et même osseux (animal) de ce site. Les seules indications que nous puissions exploiter sont celles présentées dans l'article de Charles en 1951. Au niveau des couches sépulcrales, dites cardiales, très peu de pièces lithiques sont présentes et quelques tessons de poteries, dont certains présentent des décorations au cardium, constituent l'ensemble du matériel archéologique. Pour l'auteur, le gisement n'a absolument pas été utilisé en tant qu'habitat au Néolithique ancien ; seule une vocation sépulcrale est attestée par la présence des « sépultures ».

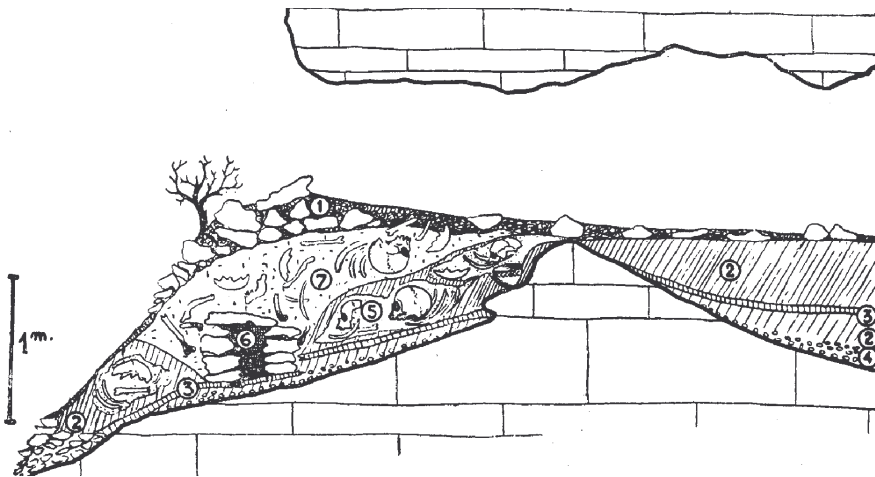


Fig. 29. Coupe de la grotte Sicard (Charles, 1951). 1-Couche de cailloutis et terre végétale ; 2-argile rouge de décalcification ; 3-plancher stalagmitique ; 4-gravier ; 5-couches contenant les squelettes ; 6-coffrage à incinération ; 7-remaniement.

a.3 Études anthropologiques réalisées

Dans cette étude, nous nous intéressons à l'ensemble archéologique de la couche II (niveau 5 d'après la Fig. 29), dans lequel furent retrouvés des fragments de poterie de type Cardial et les restes osseux de plusieurs individus (deux hommes, deux femmes, un individu non sexé et un individu dont les ossements sont brûlés). Aucune datation radiocarbone n'a été réalisée. D'après Charles (1951), « *les dernières inhumations laissent voir, malgré les remaniements postérieurs, des corps repliés dans la position « accroupie », mais sans orientation bien définie* » (p. 133). L'étude anthropologique réalisée dans les années cinquante (Charles, 1951) nous fournit des indications quand à l'âge et au sexe des individus. Cependant, ces données établies à partir de critères de robustesse et d'usure dentaire (*ibid.*), sont prises à titre indicatif, sachant qu'aucun reste du bassin n'a été retrouvé lors de la fouille et que les restes osseux, très fragmentaires et peu nombreux lors de l'échantillonnage, ne permettaient pas d'essayer de revoir cette question.

b. Étude isotopique

b.1 Échantillonnage

Lors de l'échantillonnage seuls trois individus étiquetés (individu « masculin » 2, individu « féminin » 2 et individu 3) ont été retrouvés. De plus, dans un ensemble de fragments osseux humains, dans lequel le NMI ne pouvait être établi, nous avons choisi un fragment d'os long attribué à un seul individu. Ainsi, seuls quatre individus ont été distingués et étudiés. Aucun reste de faune n'a pu être échantillonné compte tenu de l'organisation du matériel osseux de ce site et

les difficultés de retrouver des fragments de faune ayant appartenus aux couches déterminées comme étant du Néolithique ancien.

b.2 État de conservation de la matière organique

Le collagène des échantillons humains de la grotte Sicard ont été étudiés aux laboratoires MPI-EVA et Iso-Analytical. Sur les quatre individus échantillonnés, seul l'individu 3 possède les critères requis pour valider l'interprétation des résultats (Tab.19 ; Fig. 30). En effet, dans l'ensemble les proportions de carbone et d'azote sont en deçà des valeurs minimales requises ($\% C \geq 30$ et $\% N \geq 10$) et les rapports C/N ne sont pas valides excepté pour l'individu 3. Il faut noter également que deux individus n'ont quasiment plus de matière organique, ce qui confirme la très mauvaise conservation de ce matériel osseux pour de telles analyses et l'impossibilité de faire des datations carbone-14 sur le collagène.

	% C	% N	C/N	Rendement d'extraction (mg/g)
"Femme" 2	-	-	-	0,5
"Homme" 2	18,3	6,4	3,3	10,6
Individu 3	37,2	13,7	3,2	10,0
Individu A	-	-	-	0,0
Total (n = 2)	27,8	10,0	3,3	5,3 (n = 4)

Tab. 19. État de conservation du collagène des restes humains de Sicard.

La mauvaise conservation de cette série nous fait perdre de précieuses informations et l'échantillon correct ne peut être interprété qu'avec les résultats d'autres sites néolithiques. Pour cela, il faut admettre l'hypothèse que les animaux, susceptibles d'avoir fait partie des ressources alimentaires de la population humaine (qui n'ont pas pu être échantillonnés), présentent dans leur collagène osseux la même gamme de valeurs isotopiques que celle obtenues pour d'autres sites de contexte environnemental proche.

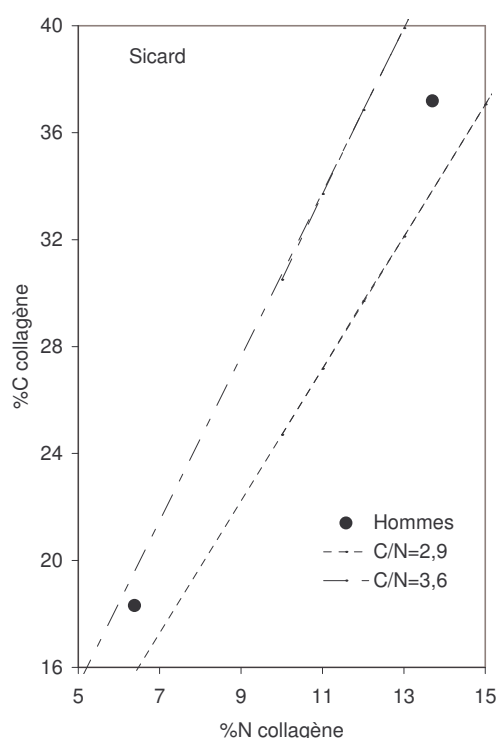


Fig. 30. Teneur en carbone et en azote du collagène des restes osseux animaux et humains de la grotte Sicard.

b.3 Analyses isotopiques et interprétation

Seuls les résultats isotopiques de l'individu 3 sont valides pour être interprétés (Tab. 20). Afin de tenter de replacer cet individu dans la chaîne trophique, nous avons comparé ses valeurs isotopiques à celles des animaux du site des Arene Candide³⁴ (culture VBQ, Ligurie, Italie) (Fig. 31). Ce site est éloigné géographiquement et chronologiquement de celui de la grotte Sicard, mais parmi l'ensemble des sites archéologiques étudiés, il est celui dont l'environnement semble le plus similaire (comm. pers. D. Binder) (le détail des analyses effectuées sur le site des Arene Candide est présenté en annexe 21).

	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
Individu 3	-19,5	8,4

Tab. 20. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du collagène du reste osseux de l'individu 3 de Sicard.

³⁴ Le choix d'un site, dont l'environnement paléocéologique est proche de celui de la grotte Sicard, s'est porté sur celui des Arene Candide, après discussion avec D. Binder.

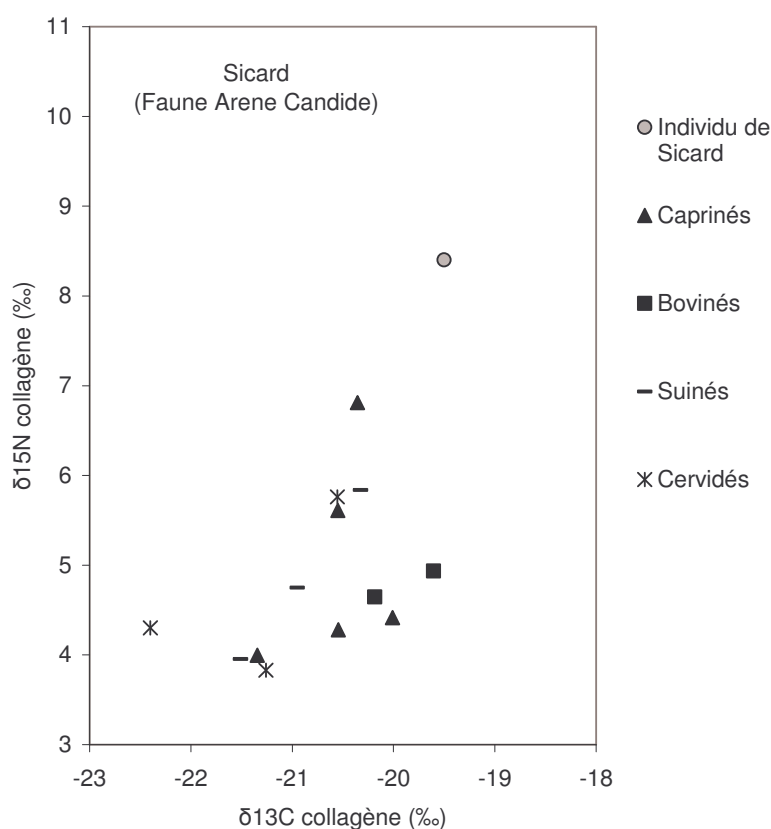


Fig. 31. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du collagène des restes osseux humains de Sicard et animaux des Arene Candide.

Les valeurs isotopiques du carbone et de l'azote de l'individu de la grotte Sicard sont plus élevées que celles des différents taxons du site des Arene Candide, choisis en référence. Lorsque l'on compare les valeurs de l'Homme à celles de la faune domestique herbivore (ici les caprinés uniquement), on observe une différence de $\delta^{13}\text{C}$ de + 1,2 ‰ en moyenne et de + 3,4 ‰ en moyenne pour le $\delta^{15}\text{N}$. De plus, les valeurs isotopiques de l'individu de Sicard, comparées à celles de la faune sauvage (cervidés) indiquent également une relation de type proie-prédateur. Néanmoins, l'étude isotopique ne peut pas mettre en évidence la contribution de la faune sauvage aux protéines de l'alimentation humaine car leurs valeurs isotopiques sont comprises dans la variabilité de celles enregistrées pour les autres animaux du site. Les ressources issues du milieu marin ne semblent pas avoir été consommées de façon régulière car la valeur de $\delta^{13}\text{C}$ obtenue n'est pas élevée (-19,5 ‰) et reste dans la variabilité de celles observées au sein de la faune terrestre. L'absence de consommation régulière de ressources marines est le point essentiel des résultats des analyses compte tenu de la position géographique du site et la proximité de l'étang de Berre. Cependant, l'étude des variations du niveau marin, durant le Néolithique, indiquent que la ligne de rivage était probablement plus éloignée du site qu'actuellement (Lambeck et Bard, 2000 ; Vella et Morhange, 2005 ; Fig. 32).

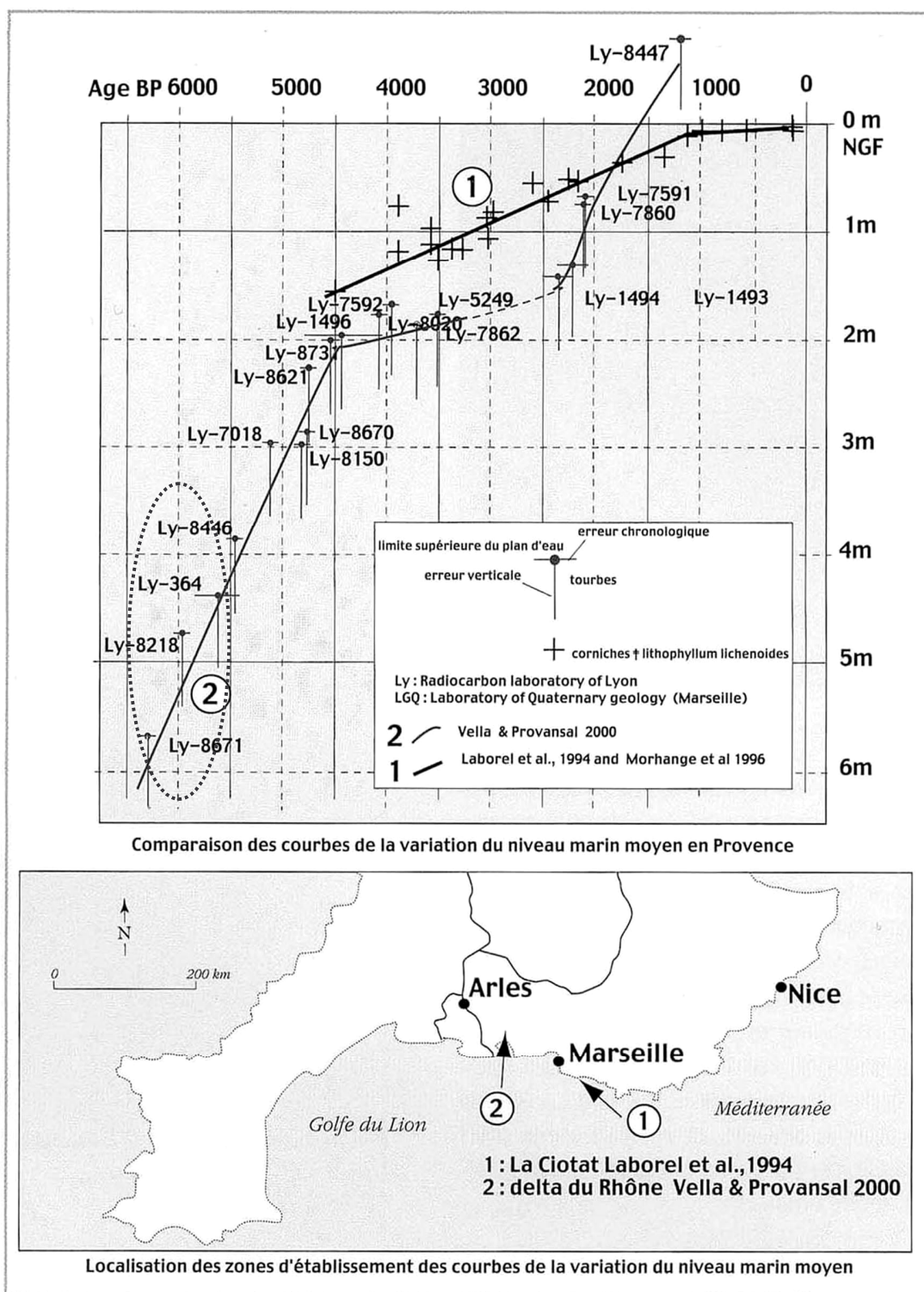


Fig. 32. Variations relatives du niveau marin en Provence (Vella et Morhange, 2005) (p 57). Cerclage : niveau marin correspondant à la période étudiée.

c. Synthèse de l'étude de la grotte Sicard

La mauvaise conservation des ossements de la grotte Sicard et l'absence de résultats sur des restes d'animaux en contexte précis ne permet pas d'avoir une approche très pertinente de ce site. Seul l'individu 3 a livré du collagène correctement conservé, mais pas suffisamment pour effectuer une datation radiométrique. Quelques informations ont cependant pu être obtenues par ces analyses :

- les valeurs isotopiques mesurées sur l'individu sont représentatives d'une consommation de ressources terrestres, caractérisée par une contribution des ressources carnées aux protéines de l'alimentation probablement importante.
- Malgré la position géographique et environnementale du site, cet individu n'a probablement pas régulièrement consommé des ressources marines. La position du niveau marin au Néolithique ancien, plus bas qu'actuellement (environ 2 à 5 m en dessous de l'actuel, dans le cas où l'on admet que l'individu est bien cardial) (Lambeck et Bard, 2000; Vella et Morhange, 2005) est une hypothèse pouvant expliquer l'absence d'une consommation régulière de ressources marines.
- Une datation carbone-14 sur le collagène serait intéressante sur cet individu, notamment pour préciser à quelle phase du Néolithique ancien il appartient et surtout pour conforter ou non l'appartenance au Néolithique ancien des ossements étudiés par R. Charles (1951)³⁵. Malheureusement, la faible quantité de collagène extrait n'a pas permis d'effectuer une datation en même temps que les analyses isotopiques.

L'absence d'études environnementales sur le site de la grotte Sicard ne permet pas de confronter les données isotopiques à ces dernières. Toutefois, un site très proche de celui de la grotte Sicard : l'abri de la Font-aux-Pigeons à Châteauneuf-les-Martigues (Bouches-du-Rhône), a permis ce type d'investigation. Sur ce dernier site, l'étude de la malacofaune a mis en évidence la présence de nombreux restes de mollusques lagunaires dans les couches du Néolithique ancien. D'après Courtin et collaborateurs (1985), cette observation témoignerait de la remontée du niveau de la mer à cette période, et de la mise en eaux de l'étang de Berre. Pour l'auteur, ces populations auraient délaissé le milieu marin pour exploiter l'étang (*ibid.*). Néanmoins, les ressources halieutiques restent présentes, en complément des ressources terrestres. Par ailleurs, les études réalisées sur ce site font également mention de nombreux restes végétaux carbonisés, notamment des céréales tels que le blé tendre (50,9 % des grains retrouvés dans les couches du Néolithique ancien) et l'orge nu (49,1 %), mais également des glands et de l'arboise (Courtin *et al.*, 1976). L'activité économique de ce site est marquée par l'exploitation croissante des animaux

³⁵ Les ossements, se trouvant dans une couche où quelques fragments de poteries décorées au cardium ont été découverts, ont toujours été attribués au Néolithique ancien cardial.

domestiques, tels que les caprins, et secondairement les bovins (Courtin *et al.*, 1985) alors que la chasse est peu importante (10 % de cerf sur la totalité de la faune terrestre) (Courtin *et al.*, 1976).

Ces dernières observations sur l'activité économique faites à partir des travaux effectués à l'abri de la Font-aux-Pigeons, semblent concorder avec les hypothèses que nous proposons à partir des résultats isotopiques obtenus sur l'individu 3 de la grotte Sicard.

4 - La Baume Bourbon (Cabrières, Gard, France)

a. Contexte archéologique

a.1 Le site archéologique

Le site de la Baume Bourbon est une petite cavité, découverte en 1969 à 3 km de Cabrières (près de Nîmes, Gard) (Fig. 33), dans laquelle des fouilles archéologiques ont été entreprises entre 1970 et 1974. L'occupation de ce site s'est faite du Néolithique ancien jusqu'à la période Moderne. La cavité s'organise en une première salle principale « salle du porche » puis en trois salles dont deux (salles 2 et 3) contiennent les sépultures de la fin du Néolithique ancien (Coste *et al.*, 1987) (Fig. 34). Les restes osseux humains et animaux sont conservés au dépôt archéologique de Nîmes, sous la responsabilité de J.-M. Pène. A ce jour, peu d'études complètes ont été publiées, l'essentiel étant présenté dans l'article de Coste et collaborateurs (1987). Plusieurs zones de ce site ont été identifiées et étudiées. Nous nous intéressons dans ce travail plus particulièrement à la salle 2 et aux zones S2 et S3 (Fig. 34) qui ont livré du matériel daté du Néolithique ancien.



Fig. 33. Localisation du site archéologique de la Baume Bourbon, Cabrières, Gard, France.

a.2 Études archéologiques et environnementales réalisées

Dans la salle 2-éboulis (zone S3), les restes d'animaux sont abondants, notamment le bœuf, le mouton et le lapin. Des restes carpologiques ont également été identifiés : 32 graines carbonisées de blé (*Triticum aestivo-compactum*) (Courtin *et al.*, 1976). Une perle, une flèche trapézoïdale, deux bracelets en marbre et des restes de poterie constituent l'ensemble du matériel de cet espace. Dans la salle 2-paroi (zone S2), deux bracelets en coquillage ont également été recueillis.

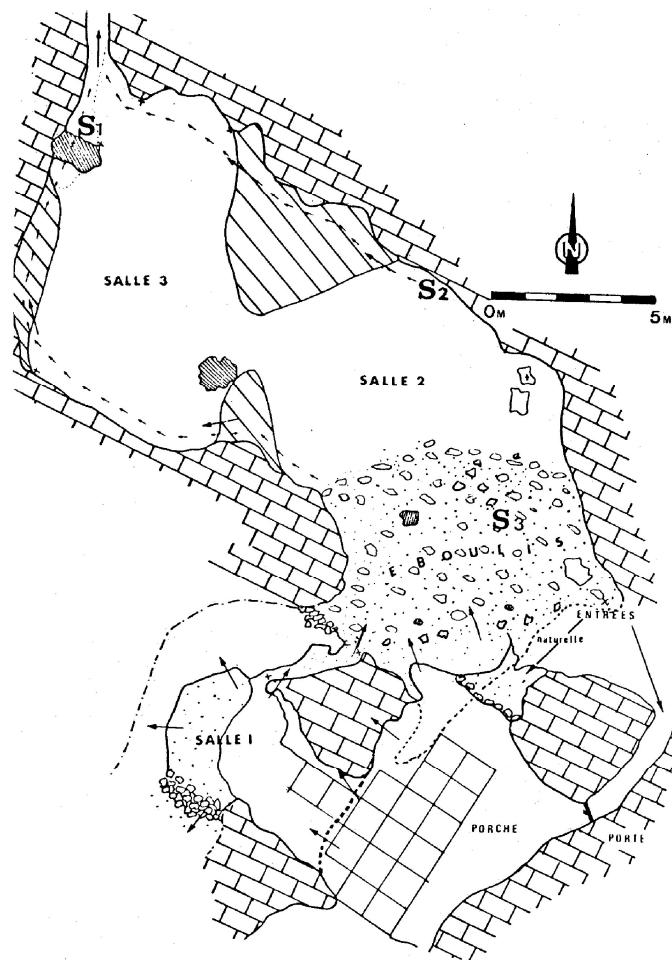


Fig. 34. Plan de la Baume Bourbon (A. Coste dans Coste *et al.*, 1987). S1, S2 et S3 : ensembles sépulcraux ; les échantillons proviennent des zones S2 et S3. Grandes flèches : axes de soutirage des sédiments ; petites flèches : sens de circulation des eaux ; hachures serrées : piliers stalagmitiques.

a.3 Études anthropologiques réalisées

Des restes humains ont été découverts dans la salle 2 et la salle 3 et ont fait l'objet d'une première étude par H. Duday (Coste *et al.*, 1987) :

- Salle 2-éboulis (zone S3) : les ossements de cinq individus au moins sont présents, attribuables à un enfant d'environ 6 ans, deux adolescents ou adultes jeunes et deux adultes.
- Salle 2-paroi (zone S2) : les ossements épars d'un enfant de 2 à 5 ans, et deux adultes dont une femme ont été retrouvés.
- Salle 3 : sept individus au moins sont présents dont un enfant de trois mois à 1 an, un enfant de 3 à 8 ans et cinq adultes dont une femme d'environ 18 ans, un homme robuste et un individu âgé présentant de l'arthrose lombaire. Le squelette de la jeune femme était couché sur le dos. Il reposait en position fléchie tout comme celui d'un autre adulte. Leur

position laisse supposer la présence d'éléments de contention (Coste *et al.*, 1987). Quelques ossements portent une coloration rouge-brun qui, d'après les analyses minéralogiques, sont exogènes au milieu sépulcral (*ibid.*) (on retrouve également ce type de dépôt minéral aux Arene Candide jusqu'au Néolithique moyen).

La salle 2 de la Baume Bourbon a également livré les restes d'un crâne sur lequel plusieurs lésions sont apparentes. Sur le maxillaire, les premières incisives droite et gauche ont probablement été enlevées du vivant de l'individu (comm. pers. H. Duday). L'avulsion dentaire, notamment des premières incisives, est une pratique relativement courante dans plusieurs populations méditerranéennes, comme chez les Ibéromaurusiens et les Capsiens (épipaléolithiques et mésolithiques du Maghreb, XX^e-VI^e millénaires av. J.-C.) ainsi que chez les Natoufiens (Bocquentin, 2003). Cependant, sa présence témoigne principalement d'un fait culturel (voire pratique, pour permettre le port du labret) dans lequel il est difficile de distinguer un statut social particulier. Malheureusement, l'absence des données de terrain et des relevés ne permet pas de mettre en relation cet individu particulier et les ossements échantillonnés pour cette étude³⁶.

Cet espace funéraire a été déterminé comme étant probablement une nécropole puisque les fouilles ont révélé trois secteurs distincts et que, malgré le colluvionnement, il est possible de distinguer la séparation des dépôts osseux et d'observer une position contractée pour certains individus (Coste *et al.*, 1987). Ce schéma d'inhumation est classique pour la période et la région.

Observations de quelques critères biologiques

En l'absence des relevés qui ont été réalisés lors de la fouille, il n'est pas possible d'attribuer à chaque individu les ossements échantillonnés. Néanmoins, il nous a paru intéressant de faire une observation générale de l'état sanitaire dentaire à partir des quelques mandibules et maxillaires présents dans la salle 2, dans le cas où les valeurs isotopiques des individus sont spécifiques et peuvent être potentiellement mises en relation avec ces observations générales (*cf.* Chap II B). Parmi les restes osseux des individus de la salle sépulcrale 2, deux mandibules adultes de la zone S2, dont une fragmentaire, une mandibule adulte et le maxillaire de l'individu présentant les avulsions dentaires sont présents (Tab. 21). Aucune carie apparente n'a pu être signalée sur ces quelques échantillons. En revanche, un dépôt de tartre supragingival est visible sur la surface linguale des deuxièmes prémolaires droites et gauches d'une des mandibules de la

³⁶ L'échantillonnage du crâne n'a pas été réalisé compte tenu de la mauvaise préservation de l'os qui mettait en doute la possibilité d'extraire le collagène. Un échantillonnage serait possible sur des parties du crâne qui semblent mieux conservées, l'étude complète de celui-ci doit être réalisée au préalable. De plus, à la lueur des résultats sur la composition élémentaire du collagène extrait et compte tenu de la mauvaise qualité du collagène sur tous les individus, nous n'avons pas entrepris pour le moment d'analyser cette partie anatomique.

zone S2 ainsi que sur la surface labiale de la canine droite du maxillaire de la zone sépulcrale non définie. Les stades d'attrition dentaires (Smith, 1984) sont variables selon les dents et selon les individus, mais les molaires sont principalement atteintes sur les fragments observés. Des résorptions du bord alvéolaire, plus ou moins importantes³⁷, sont également observables.

	Caries	Tartre	Attrition (Smith, 1984)	Résorption alvéolaire	Autres
Mandibule 1, salle II, zone S2	-	P ₄	M : 4-5 ; P : 4-5 ; C et I : 5	Importante au niveau du tartre	Pertes dentaires <i>ante-mortem</i> des M ₁ et 2 (g) et présence d'un « bourrelet osseux » sur le rebord alvéolaire lingual
Mandibule 2, salle II, fragmentée, zone S2	-	-	P : 3 ; C et I : 4	modérée	-
Mandibule 3, salle II, zone non définie	-	-	M : 3	modérée	Hypoplasies de l'émail sur les M ₁ et 2
Maxillaire, salle II probable, zone non définie	-	C (d)	M ¹ et C : 5	modérée	Pertes dentaires <i>ante-mortem</i> des I ¹

Tab. 21. Synthèse des observations sur l'état sanitaire dentaire de quelques individus de la salle sépulcrale 2 de la Baume Bourbon. g : gauche ; d : droite. M : molaire ; P : prémolaire ; C : canine ; I : incisive.

b. Datations

Une date sur charbon de bois présent dans la couche à ossements donne un âge de 6080 ± 100 BP (4130 BC non calibré ; MC-794) (Coste *et al.*, 1987) (soit 5220-4760 BC cal.³⁸). La couche d'habitat est datée à 4230 BC non calibré (Coste *et al.*, 1987). Ces sépultures sont datées du Néolithique ancien « en raison de la position stratigraphique des sépultures et la nature du mobilier qui les accompagne » (*ibid.* ; p. 535).

c. Étude isotopique

c.1 Échantillonnage

L'échantillonnage a été réalisé sur les individus de la salle 2, zones S2 et S3 (Fig. 34). Les relevés et les plans n'étant pas accessibles, nous n'avons pas pu déterminer à quels coxaux ou quels crânes les ossements prélevés appartenaient. Nous savons toutefois, d'après les premières études archéologiques, que pour les échantillons issus de la zone S2 l'un des deux adultes est une femme et l'autre est de sexe indéterminé. Sept individus ont pu être échantillonnés (prélèvements effectués sur la même partie anatomique pour les adultes : le fémur droit), deux adultes et un

³⁷ Quantifier l'importance de ces résorptions est délicat car relativement subjectif c'est pourquoi nous différencions uniquement les résorptions modérées et les résorptions importantes (laissant apparaître plus de la moitié de la racine dentaire).

³⁸ Les dates BC cal. proposées en italique ont été calculées d'après Oxcal 4.0 (<http://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal/>).

enfant (prélèvement effectué sur le tibia) dans la zone S2 et deux adultes, deux immatures (un adulte jeune et un adolescent ou deux adolescents³⁹) pour la zone S3 (annexe 20). La présence d'épais dépôts de calcite sur la plupart des os longs a rendu l'échantillonnage assez difficile et a nécessité l'intervention d'une action mécanique afin d'accéder à la corticale osseuse (décapage d'une partie des ossements effectué par Ph. Léon, UMR 5199-PACEA). Des échantillons de faune ont été sélectionnés dans les couches de la salle 2 et déterminés grâce à l'aide de D. Armand (UMR 5199-PACEA).

c.2 État de conservation de la matière organique

L'étude des ossements de la Baume Bourbon a été réalisée aux laboratoires MPI-EVA et Iso-Analytical. La conservation de la matière organique dans ces ossements est très médiocre, autant pour la population humaine que pour la faune. Les proportions de carbone présentes dans le collagène des ossements s'étendent de 10,2 % à 43,6 % et celles de l'azote de 3,2 % à 15,8 % (Tab. 22 ; Fig. 35).

	% C	% N	C/N	Rendement d'extraction (mg/g)
Restes humains (n = 6)	16,7	5,5	3,6	3,9
Faune (n = 9)	30,9	10,8	3,4	11,0
Moyenne (n = 15)	23,8	8,1	3,5	7,4
Min	10,2	3,2	3,1	1,0
Max	43,6	15,8	3,8	47,2

Tab. 22. État de conservation du collagène des restes humains et animaux de la Baume Bourbon.

³⁹ Ces deux derniers échantillons pourraient provenir du même individu car nous n'avons pas pu prélever sur le même os. L'un des prélèvements a été réalisé sur un fémur droit dont l'épiphyse distale n'était pas encore soudée, l'autre prélèvement a été réalisé sur une clavicule dont l'extrémité sternale n'était pas encore soudée.

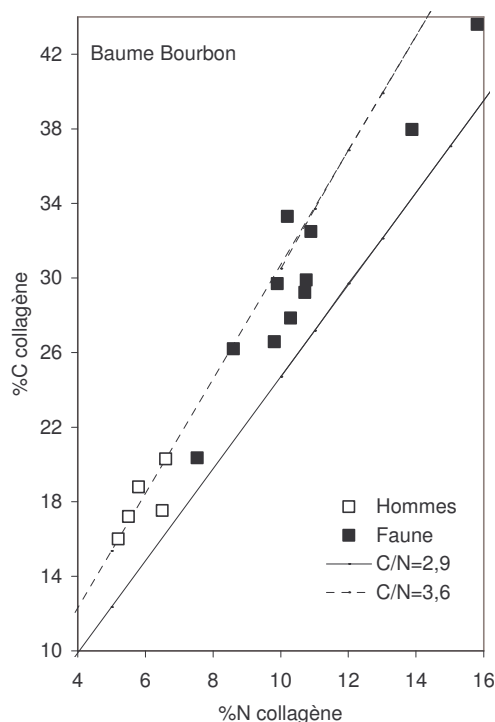


Fig. 35. Teneur en carbone et en azote du collagène des restes osseux animaux et humains de la Baume Bourbon.

	Rendement (mg/g)						C/N collagène				
	N Hommes	r (X,Y)	R ²	P	Constante	Pente	r (X,Y)	R ²	P	Constante	Pente
$\delta^{13}\text{C}$	4	-0,05	0,00	0,94	-20,21	-0,00	0,88	0,77	0,11	-30,41	2,84
$\delta^{15}\text{N}$	4	0,07	0,00	0,92	9,82	0,01	-0,99	0,99	0,00	90,29	-22,43
C/N	4	-0,07	0,00	0,92	3,58	-0,00					
	Rendement (mg/g)						C/N collagène				
	N Faune	r (X,Y)	R ²	P	Constante	Pente	r (X,Y)	R ²	P	Constante	Pente
$\delta^{13}\text{C}$	9	0,21	0,04	0,57	-20,56	0,00	-0,07	0,00	0,84	-18,34	-0,61
$\delta^{15}\text{N}$	9	-0,09	0,09	0,80	5,17	-0,00	0,03	0,00	0,91	3,79	0,38
C/N	9	-0,27	0,07	0,47	3,48	-0,00					

Tab. 23. Corrélations entre la quantité et la qualité du collagène et sa composition isotopique sur le site de la Baume Bourbon.

Compte tenu des très faibles proportions d'azote et de carbone présentes dans le collagène des ossements de cette collection, d'éventuelles corrélations entre les valeurs isotopiques, la qualité (C/N) et la quantité (rendement d'extraction) du collagène extrait ont été recherchées. Il n'existe pas de corrélation entre les valeurs isotopiques obtenues, la qualité et la quantité du collagène extrait pour les échantillons de faune, comme l'indiquent les résultats ci-dessus. En revanche, en ce qui concerne le collagène des restes osseux humains, une forte corrélation entre le $\delta^{15}\text{N}$ et le C/N du collagène extrait est mise en évidence (Tab. 23). Il n'est donc pas impossible

que les valeurs isotopiques de l'azote du collagène soient influencées par la qualité du collagène extrait.

c.3 Analyses isotopiques et interprétations

En raison du très mauvais état de conservation de la matière organique osseuse, trois échantillons sont exclus définitivement de la discussion : deux ossements humains et un de bœuf. Toutefois, si nous devons respecter strictement les conditions d'exclusion des échantillons, à savoir le rejet de ceux dont les proportions de C et N sont trop faibles ($\% C < 30$ et $\% N < 10$), aucun reste humain de ce site ne peut être étudié. Certains des C/N étant compris dans des gammes de valeurs considérées comme correctes (entre 2,9 et 3,6 inclus), nous avons choisi de travailler avec ces échantillons, tout en étant consciente de l'insuffisance des proportions d'éléments chimiques contenues dans les ossements et des mauvaises conditions de conservation. Par conséquent, les résultats de l'interprétation sont à prendre avec précaution.

Les animaux

Les caprinés ont un $\delta^{13}C$ de $-20,2 \text{ ‰}$ ($n = 5$; 1σ de $\pm 0,4$) et un $\delta^{15}N$ de $4,9 \text{ ‰}$ (1σ de $\pm 0,2$) ; le chevreuil de ce site a des valeurs isotopiques comprises dans la variabilité de celles enregistrées pour les caprinés. Le bœuf quant à lui possède un $\delta^{13}C$ similaire à ceux des herbivores du site mais un $\delta^{15}N$ plus élevé d'environ 1 ‰ . Le très faible nombre d'animaux herbivores analysé sur ce site ne permet pas de rendre compte de la variabilité isotopique des espèces et de proposer une hypothèse pertinente quant à la différence de $\delta^{15}N$ observée entre le bœuf et les autres espèces animales.

	$\delta^{13}C$ (‰)	$\delta^{15}N$ (‰)	% C	% N	C/N
BB2IIa	-20,2	10,3	16,0	5,2	3,6
BB2IIb	-19,8	10,2	20,3	6,6	3,6
BB3IIa	-20,1	8,9	17,2	5,5	3,6
BB3IIb	-20,3	10,2	20,3	6,6	3,6
Bœuf 1	-19,9	6,2	38,4	13,0	3,4
Capriné 1	-20,6	4,6	22,9	7,4	3,6
Capriné 2	-19,8	5,1	45,8	15,4	3,4
Capriné 3	-20,6	4,7	29,7	9,9	3,5
Capriné 4	-20,2	5,0	31,0	10,5	3,4
Capriné 5	-20,7	4,5	27,8	9,2	3,5
Chevreuil	-20,4	5,1	28,4	9,6	3,4

Tab. 24. $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$, % C, % N et C/N du collagène des restes osseux humains et animaux de la Baume Bourbon.

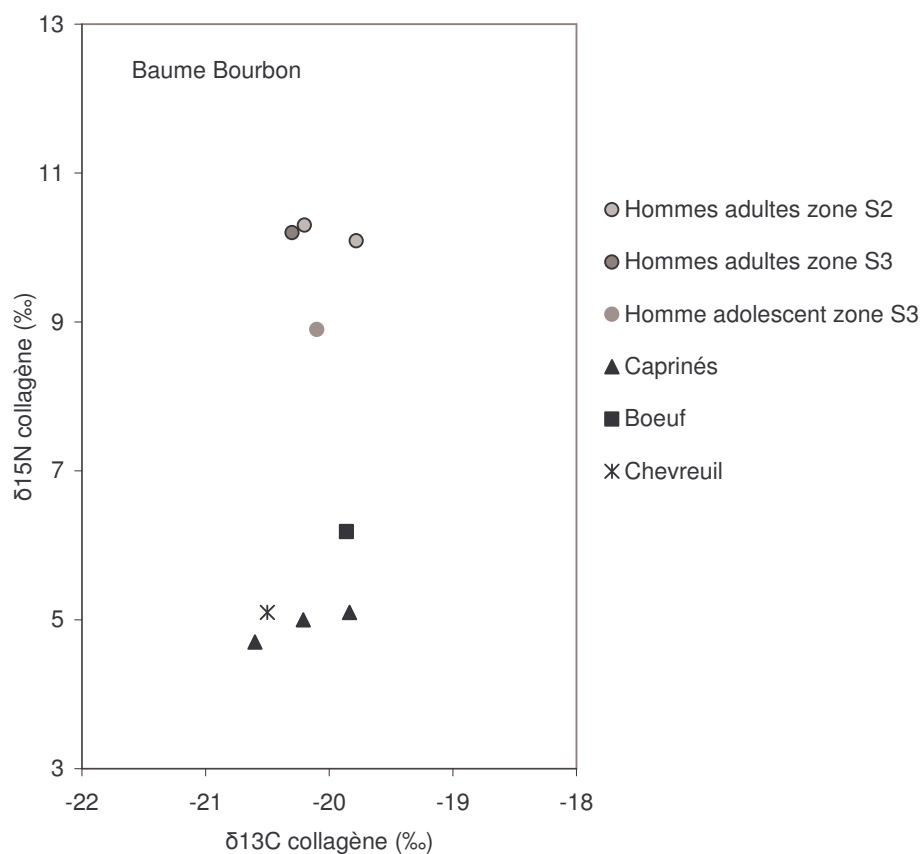


Fig. 36. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du collagène des restes osseux animaux et humains de la Baume Bourbon.

La population humaine

Seuls quatre individus ont des valeurs isotopiques du collagène qui peuvent être interprétées, mais avec précaution. Nous pouvons observer que les individus adultes ont des valeurs isotopiques très similaires ($\delta^{13}\text{C}$ de $-20,1$ ‰ ; $n = 3$; 1σ de $\pm 0,3$ et $\delta^{15}\text{N}$ de $10,2$ ‰ ; 1σ de $\pm 0,1$) qui diffèrent de celles de l'individu immature en ce qui concerne l'azote ($\delta^{15}\text{N}$ de $8,9$ ‰) (Fig. 36). Il est également intéressant de souligner que même si des individus adultes ont été éliminés de la discussion, en raison de la très mauvaise conservation osseuse, leurs valeurs isotopiques sont très similaires aux individus utilisés dans l'interprétation des données⁴⁰. De plus, l'un des immatures (adolescent ou jeune adulte) écarté de la discussion possède les mêmes valeurs isotopiques que l'adolescent⁴¹ étudié. On observe une différence de $1,3$ ‰ en $\delta^{15}\text{N}$ entre l'adolescent et les adultes. Celle-ci n'est pas très importante mais compte tenu du fait que le $\delta^{15}\text{N}$

⁴⁰ Il est également possible que l'homogénéité des résultats reflète tout simplement un très mauvais état de conservation général de la matière organique.

⁴¹ Il est possible que cet échantillon de BB3IIa soit du même individu que l'échantillon BB3IIc puisque nous n'avons pas pu échantillonner le même os ; de plus, même si l'échantillon de BB3IIc est très mal conservé nous pouvons remarquer que les valeurs isotopiques sont identiques entre les deux échantillons.

du reste de la population adulte est très homogène, il est possible que ce jeune sujet ait eu une alimentation moins riche en protéines animales que les adultes⁴².

Relation Homme/animal

Les différences de valeurs isotopiques du collagène entre la population humaine et les herbivores domestiques vont de -0,2 ‰ à + 0,3 ‰ pour le $\delta^{13}\text{C}$ et de + 3,7 ‰ à + 5,1 ‰ pour le $\delta^{15}\text{N}$ (Tab. 24 ; Fig. 36). Pour le carbone, les valeurs isotopiques de la population humaine sont incluses dans la variabilité de celles observées pour la faune. En revanche, en ce qui concerne l'azote, les valeurs isotopiques du groupe humain sont bien supérieures. Une importante consommation de ressources animales par la population humaine peut expliquer ce résultat (van Klinken *et al.*, 2000). Notons que la présence de tartre chez certains individus (Tab. 21) peut être influencée par une consommation de ressources riches en protéines, comme les résultats isotopiques le supposent. Cette hypothèse doit toutefois être pondérée car la présence de tartre n'est pas généralisée alors que l'ensemble des individus semble avoir une alimentation riche en protéines animales.

Précisons par ailleurs que l'absence (ou l'indisponibilité des résultats) d'études archéozoologiques sur ce site ainsi que la similarité entre les valeurs isotopiques des faunes sauvages et domestiques ne permet pas de proposer d'hypothèse quant à la part des ressources chassées et domestiquées dans les protéines de l'alimentation des individus humains. Toutefois, la consommation de ressources issues du milieu dulcicole n'est pas à écarter, sachant que les $\delta^{15}\text{N}$ enregistrés chez les hommes sont très élevés et les $\delta^{13}\text{C}$ sont dans la variabilité de ceux observés pour la faune du site.

Analyse comparative des données biologiques

Peu de données biologiques peuvent être prises en compte et comparées aux valeurs isotopiques. Néanmoins, quelques remarques doivent être soulignées. En ce qui concerne l'âge au décès, on observe en effet qu'une fois de plus (*cf.* Pendimoun) le $\delta^{15}\text{N}$ le plus faible (de 1,3 ‰) enregistré est celui d'un individu jeune, ici un adolescent. Par ailleurs, on remarque également que la présence de tartre sur certaines mandibules de la salle II et les stades d'attrition peu élevés enregistrés vont dans le même sens que les analyses isotopiques, à savoir la consommation de ressources riches en protéines animales et peu abrasives. Cette dernière observation doit cependant être considérée avec beaucoup de précautions car d'une part, nous ne pouvons actuellement pas faire de correspondance entre les mandibules et les individus échantillonnés et d'autre part, les informations sur l'état sanitaire dentaire sont très parcimonieuses. Une étude

⁴² Cette observation se retrouve également sur le site Néolithique moyen VBQ des Arene Candide.

biologique plus complète sur cette population sera nécessaire si l'on souhaite discuter ce point avec plus de pertinence.

d. Synthèse de l'étude de la Baume Bourbon

L'ensemble des restes osseux, humains et de faune, du site de la Baume Bourbon est très mal conservé. Les proportions de carbone et d'azote sont faibles mais quelques échantillons ont des C/N corrects. Malgré la mauvaise conservation de la matière organique nous proposons sur la base des résultats obtenus (sous réserve de leur fiabilité), quelques hypothèses :

- seuls les résultats de 4 individus ont été interprétés. Toutefois, il n'est pas impossible que les valeurs soient assez représentatives de la population échantillonnée puisque les échantillons dont les C/N ne sont pas corrects ont les mêmes valeurs isotopiques que l'ensemble des individus⁴³.
- L'essentiel des protéines de l'alimentation sont probablement animales, issues de milieu terrestre et peut-être dulcicole. L'absence de données environnementales et le faible effectif d'animaux analysés ne permettent pas d'aller plus loin dans les hypothèses.
- Il existe une différence de $\delta^{15}\text{N}$ entre l'adolescent et les individus adultes de ce site, pouvant être liée à une consommation moindre de ressources carnées par le sujet immature. Se pose alors la question du statut social de cet individu par rapport aux autres membres du groupe.

Nous avons choisi ici de travailler en tenant compte uniquement des valeurs de C/N de manière à proposer des hypothèses sur les choix alimentaires de la population humaine de ce site, mais nous restons prudente quant aux résultats et à l'interprétation qui est proposée. Les ossements de la salle 3 n'ont, par ailleurs, pas encore été analysés. Compte tenu des premiers résultats obtenus dans la salle 2, une analyse élémentaire sur un échantillon humain de la salle 3 est en cours, afin de voir si de la matière organique est potentiellement présente dans les ossements de ce secteur. Dans le meilleur des cas, le reste de la population humaine pourra être échantillonné et faire l'objet d'une analyse isotopique qui permettra de compléter nos données sur ce site, et sur le Néolithique ancien. Enfin, l'absence d'une étude détaillée des restes animaux ainsi que le manque de données sur leur contexte chronologique précis invite également à rester prudent sur les hypothèses proposées.

⁴³ Cette hypothèse reste prudente, mais la très forte homogénéité entre les valeurs isotopiques de ces individus nous a particulièrement surpris.

C - Le Néolithique de type Fontbrégoua et le VBQ

1 La Baume Fontbrégoua (Salernes, Var, France)

a. Contexte archéologique

a.1 Le site archéologique

La Baume Fontbrégoua est une grotte, située à 100 km à l'est de Marseille (à Salernes, Var ; Fig. 37). La cavité est relativement grande (30 x 10 m), avec trois parties principales : le porche, la salle principale et la salle inférieure. Les premières fouilles ont eu lieu entre 1948 et 1960, dirigées par A. Taxil, puis à partir de 1970 par J. Courtin (Binder, 1987). La grotte comporte plusieurs niveaux archéologiques allant du Paléolithique à la fin du Néolithique. De nombreuses publications sur les restes animaux et humains (Bouville, 1987 ; Courtin, 2000 ; Villa, *et al.*, 1985 ; Villa *et al.*, 1986 ; Villa, 1992) fournissent une bonne connaissance du site mais également des modes de vie de populations néolithiques en Méditerranée occidentale. Les ossements humains et animaux sont actuellement conservés au Musée de Préhistoire de Quinson, sous la direction de J. Gagnepain.



Fig. 37. Localisation du site archéologique de la Baume Fontbrégoua, Salernes, Var, France.

a.2 Études archéologiques et environnementales réalisées

Sur ce site, l'étude de plusieurs structures (petites cuvettes) contenant des restes osseux animaux comportant des stries de découpe, permet de connaître les techniques de boucherie de l'époque et l'occupation de la grotte (Villa *et al.*, 1985). Outre les restes osseux humains et animaux, de la poterie, des outillages lithiques (peu de produits de débitage ont été mis au jour),

des parures, et notamment des bracelets en pierre, et quelques céréales carbonisées sont présents sur le site (Courtin *et al.*, 1976). La végétation du Néolithique, étudiée par J.-L. Vernet (analyses anthracologiques sur les V^e et IV^e millénaires av. J.-C.), montre une domination de la chênaie caducifoliée, associée à des peuplements de pin d'Alep et de genévrier (Villa *et al.*, 1985 ; Vernet *et al.*, 1987). Pour les auteurs, la Baume Fontbrégoua était occupée sur des temps relativement longs mais de manière discontinue puisque des opérations de nettoyage et de structuration des fosses dans lesquelles sont accumulés les restes de boucheries ont été mises en évidence (Villa *et al.*, 1985).

La subsistance carnée semble être assurée autant par la chasse (sanglier et cerf) que par l'élevage (caprinés) au Néolithique ancien (Helmer, 1979 ; Tab. ; Fig. 38). Les caprinés étant probablement parqués dans la grotte, ce qui permet également de suggérer une occupation longue de la grotte, voire saisonnière (Villa *et al.*, 1986). Le rôle de la chasse dans l'acquisition des ressources alimentaires diminue cependant au Néolithique moyen, au profit des caprinés qui dominent le cheptel domestique. Enfin, l'une des particularités du site est la présence de nombreux restes (plaques osseuses) de tortue cistude dans les couches anciennes du Néolithique (249 fragments représentant 34 individus), témoignant d'une consommation non négligeable de cette espèce (Cheylan et Courtin, 1976) ; consommation qui semble diminuer très fortement au Néolithique moyen.

	NR NA	% NR NA	NR NM	% NR NM
Carnivores	91	6,5	22	1,9
Chien			17	1,5
Renard	17	1,2	2	0,2
Loup	4	0,3	1	0,1
Blaireau	20	1,4	2	0,2
Chat sauvage	7	0,5		
Martre	31	2,2		
Lynx	4	0,3		
Suinés	274	19,5	100	8,6
Grands ruminants	369	26,3	383	32,8
Aurochs	3	0,2	1	0,1
Bœuf	136	9,7	246	21,0
Cerf	195	13,9	19	1,6
Petits ruminants	657	46,9	596	51,0
Chevreuil	22	1,6	8	0,7
Bouquetin			1	0,1
<i>Caprinés</i>	488	34,8	468	40,0
Chèvre	19	1,4	22	1,9
Mouton	91	6,5	65	5,6
Lagomorphes	11	0,8	68	5,8
Lapin	2	0,1	55	4,7
Lièvre	9	0,6	12	1,0
Total	1402	100,0	1169	100,0

Tab. 25. Nombre et proportion de restes des espèces présentes dans le secteur central du site de Fontbrégoua au Néolithique ancien (NA) et moyen (NM) d'après l'étude de Helmer (1979).

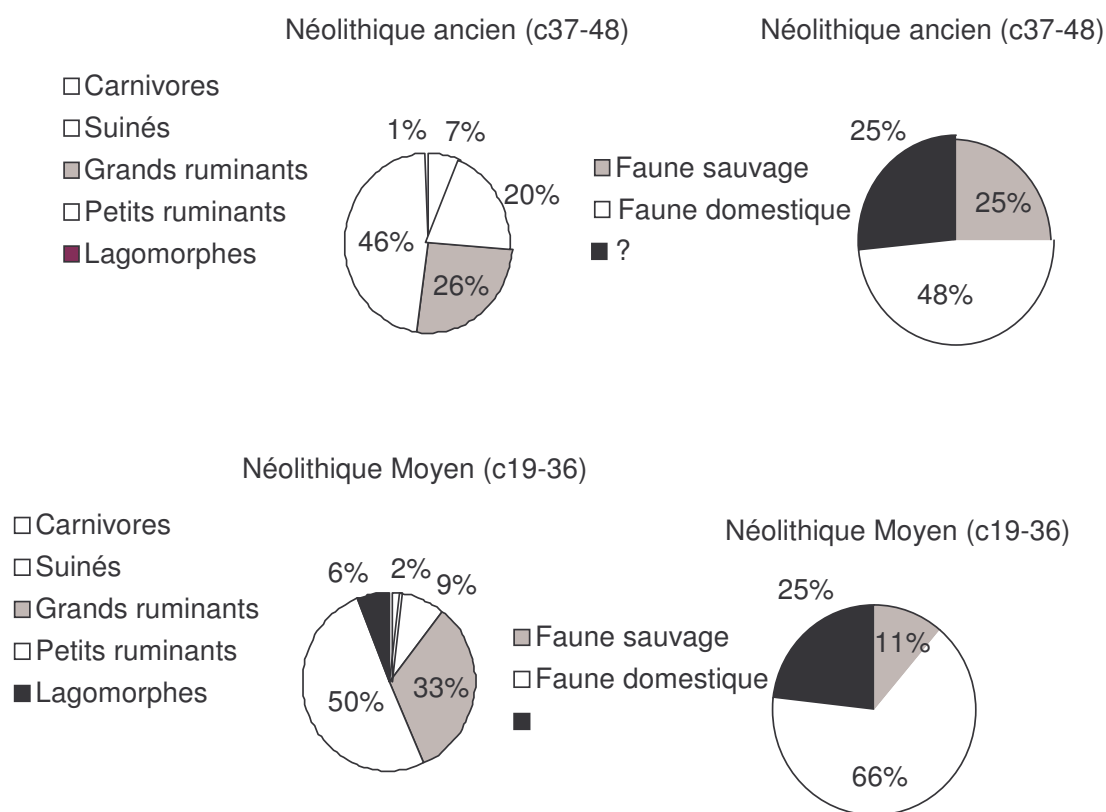


Fig. 38. Proportions de faunes sauvages et domestiques terrestres dans le secteur central du site de Fontbrégoua au Néolithique ancien (NA) et moyen (NM) d'après l'étude de Helmer (1979).

a.3 Études anthropologiques réalisées

Les ossements humains étaient principalement répartis dans trois structures (Fig. 39). Ces individus portaient des «*stries d'écorchage, de désarticulation et de décarnisation ainsi que des stigmates certains de fracturation*» (Villa *et al.*, 1985 ; p. 419). L'étude anthropologique dénombre dans l'ensemble des structures H1, H2 et H3, cinq enfants, sept adultes et un individu indéterminé, ainsi qu'un amas de restes crâniens et post-crâniens bouleversés comportant 7 individus au moins. Une étude complète des traces de découpes observées sur la faune et les restes humains a mis en avant des pratiques anthropophages au début du Néolithique (Fig. 40) : «*conservation des ossements en tant que trophée ou objets rituels*» (Villa *et al.*, 1986 ; p. 159), cependant, les motivations de ces actes sont très difficiles à percevoir (Villa, 1992). Pour ces auteurs la consommation de ces êtres humains est clairement mise en évidence (Villa *et al.*, 1986), même si ce point a fait l'objet de nombreuses discussions, notamment en ce qui concerne la question de pratiques funéraires particulières (Bahn, 1990 ; Villa *et Courtin*, 1991). Il faut également préciser que des traces similaires ont également été retrouvées sur des fragments

crâniens d'individus du Néolithique ancien de l'abri de la Font-aux-Pigeons à Châteauneuf-les-Martigues (Bouches-du-Rhône) (Courtin *et al.*, 1985 ; Binder, 1987).

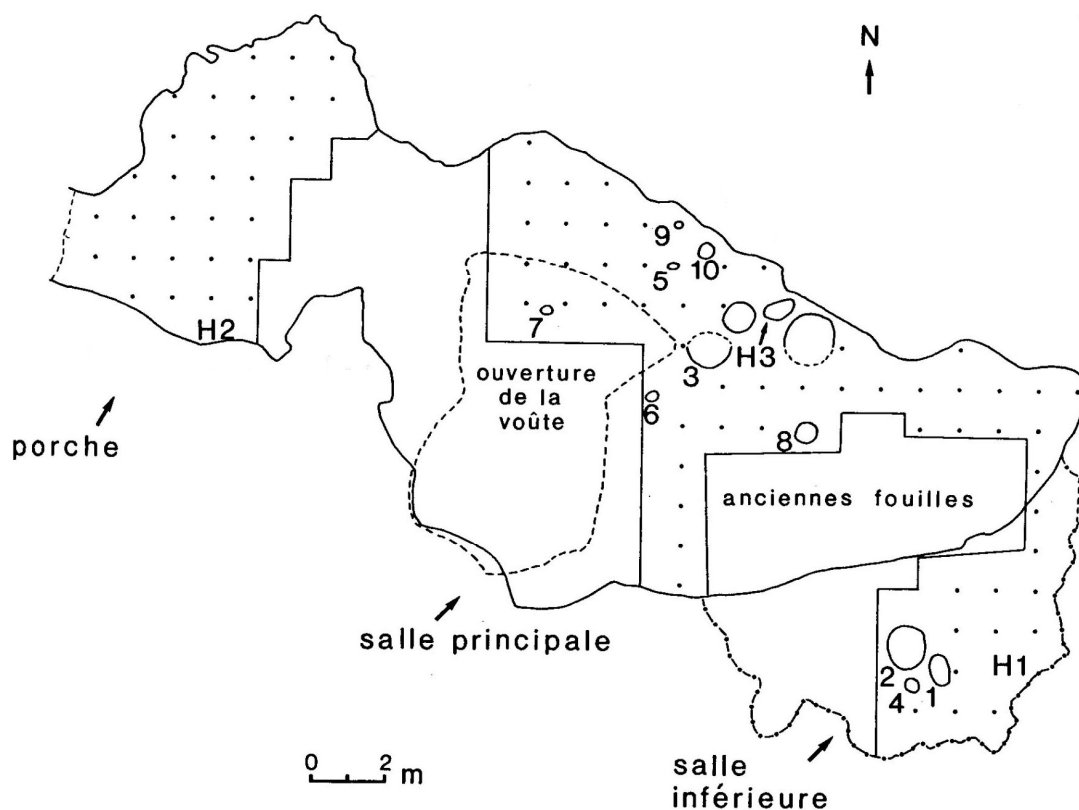


Fig. 39. Plan de la grotte de Fontbrégoua pour le Néolithique ancien et localisation des structures fouillées (Villa, P. *et al.*, 1986). La plupart des restes humains échantonnés se situent dans les structures H1, H2 et H3.

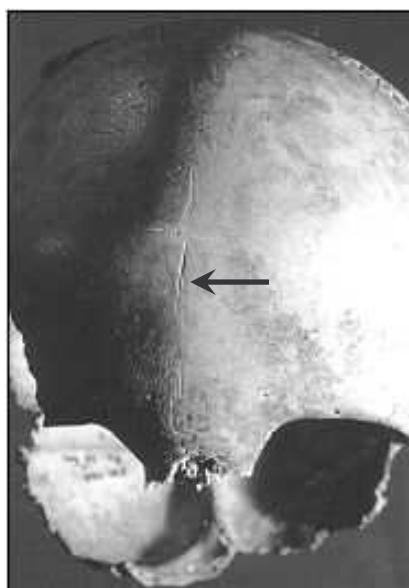


Fig. 40. Traces de découpe sur un crâne néolithique retrouvé à la Baume Fontbrégoua (cliché J. Courtin dans Courtin, 2000).

b. Datations

Des datations radiocarbone ont été réalisées sur le niveau du Néolithique le plus ancien de la grotte donnant un âge de 4750 ± 100 BC (non calibré ; GSY-2990) (Villa et Courtin, 1983). Des ossements humains ont été datés (structure H3) donnant un âge de 5880 ± 130 BP, (Ly-3748) (Villa *et al.*, 1986) (soit *5060-4440 BC cal.*⁴⁴) ; ce résultat correspondrait d'après Villa et collaborateurs (1986) à la phase finale du Néolithique ancien ou au « Néolithique moyen de type Fontbrégoua » (comm. pers. D. Binder). Les structures H1 et H2 ont également fait l'objet de datations radiométriques : « approx. 4000 ± 300 BC » (non calibré) (Villa *et al.*, 1986) ; ces dernières sont à prendre à titre indicatif car « la position de ces structures est perturbée » (*ibid.*) ; l'attribution culturelle de ces structures serait Néolithique ancien ou moyen (comm. pers. D. Binder). D'autres datations radiométriques effectuées sur les ossements de la « fosse aux crânes » donnent un âge de 4200 et 4100 BC non calibré (Bouville, 1987).

c. Étude isotopique

c.1 Échantillonnage

L'échantillonnage des restes humains s'est effectué en accord et avec l'aide des responsables du Musée et de la collection, dont I. Dubset, C. Luzi et J. Courtin. Dans un souci de préservation du matériel, seuls les restes osseux adultes et ne présentant pas de stries de découpe ont été échantillonnés :

- trois individus de la structure H1. Dans cette structure, l'échantillonnage s'est orienté sur les humérus ;
- un individu de la structure H2. Deux restes anatomiquement différents ont été échantillonnés, appartenant à un ou deux individus ; pour Villa et collaborateurs (1986) l'ensemble des ossements de cette structure appartenait probablement au même individu.
- quatre individus de la structure H3. L'échantillonnage a été réalisé uniquement sur les tibias gauches ;
- trois individus hors structures, pour lesquels des parties anatomiquement différentes ont été sélectionnées

L'échantillonnage de la faune, réalisé avec l'aide de D. Helmer, a été effectué sur les ossements des couches du Néolithique ancien. L'ensemble comporte à la fois des herbivores et des omnivores domestiques (moutons, bœufs et suidés) et des herbivores sauvages (chevreuil et

⁴⁴ La date BC cal. proposée en italique a été calculée d'après Oxcal 4.0 (<http://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal/>).

cerf). Des moulages de plusieurs pièces osseuses échantillonnées ont été également réalisés grâce à l'aide de M. Bessou (UMR 5199-PACEA) et A. Mann (Université de Princeton, USA) (Fig. 41). La réalisation de moulage est importante notamment pour les pièces uniques qui risquent d'être totalement détruites pour les analyses.



Fig. 41. Moulages de fragments osseux de Fontbrégoua.

c.2 Étude de la matière organique

Le collagène des ossements de Fontbrégoua a été étudié aux laboratoires Iso-Analytical et MPI-EVA. L'ensemble des 25 échantillons possède en général des proportions suffisantes de carbone et d'azote dans le collagène (Tab. 26 ; Fig. 42). Ces proportions s'étendent de 9,4 % à 43,6 % pour le carbone et de 3,7 % à 15,8 % pour l'azote (annexe 21). Quatre échantillons ne respectent cependant pas les critères de validité du collagène et sont éliminés de la discussion : trois restes humains (un présent dans le secteur H3 et les deux autres hors secteur) et un de suiné.

	% C	% N	C/N	Rendement d'extraction (mg/g)
Restes humains (n = 12)	33,7	12,2	3,3	40,8
Faune (n = 13)	39,3	14,2	3,3	51,1
Moyenne (n = 25)	36,5	13,2	3,3	46,0
Min	9,4	3,7	3,0	2,0
Max	43,6	15,8	3,9	95,1

Tab. 26. État de conservation du collagène des restes humains et animaux de la Baume Fontbrégoua.

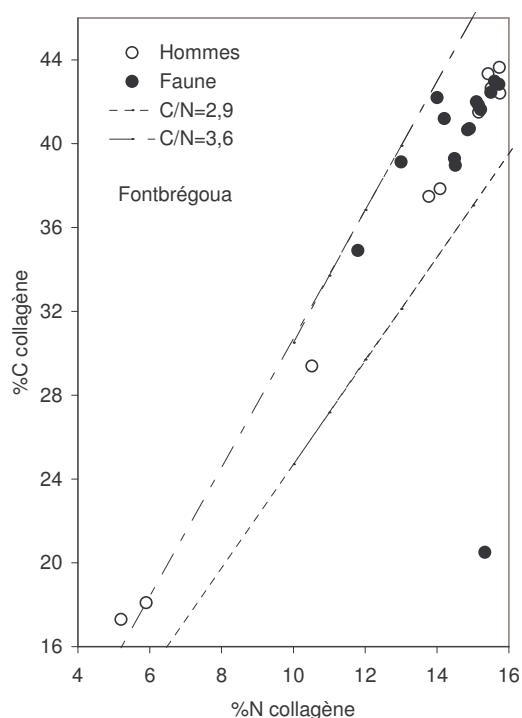


Fig. 42. Teneur en carbone et en azote du collagène des restes osseux animaux et humains de Fontbrégoua.

c.3 Analyses isotopiques et interprétations

Les animaux

La variation du $\delta^{13}\text{C}$ dans l'ensemble des animaux est faible (1,3 ‰), elle est plus importante en ce qui concerne le $\delta^{15}\text{N}$ (2,8 ‰). Les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ les plus faibles sont attribuées aux moutons et aux cervidés (de 2,9 à 5,2 ‰), vient ensuite le groupe des bœufs et des suinés (5,5 à 7,3 ‰). Les variations du $\delta^{15}\text{N}$ que l'on observe entre les espèces animales herbivores peuvent s'expliquer par la consommation de ressources végétales dont les $\delta^{15}\text{N}$ sont différents.

	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	% C	% N	C/N
FB1 (H1)	-20,4	9,4	29,4	10,5	3,3
FB2 (H1)	-19,8	9,5	41,5	15,2	3,2
FB3 (H1)	-19,8	9,4	42,7	15,5	3,2
FB9-10 (H2)	-20,1	9,3	41,8	15,2	3,2
FB11 (H2)	-20,2	9,2	43,3	15,4	3,3
FBA (H3)	-19,8	9,8	43,6	15,7	3,2
FBB (H3)	-19,8	9,2	37,8	14,1	3,1
FBC (H3)	-19,8	9,6	42,4	15,8	3,1
FB5 (HS)	-19,8	9,7	37,5	13,8	3,2
Bœuf 1488	-20,4	6,1	43,0	15,6	3,2
Bœuf 962	-21,1	6,0	34,9	11,8	3,4
Bœuf 473	-19,8	7,3	41,6	15,2	3,2
Mouton 1252	-19,8	4,5	42,5	15,5	3,2
Mouton 1081	-19,9	5,0	42,8	15,7	3,2
Mouton 1411	-20,1	4,9	40,7	14,9	3,2
Mouton 1599	-20,1	2,9	40,7	14,9	3,2
Suiné 875	-20,0	6,7	41,2	15,1	3,2
Suiné 652	-20,0	5,5	42,0	15,3	3,2
Cerf 1052	-20,6	4,5	39,0	14,5	3,1
Cerf 447	-20,6	4,5	39,3	14,5	3,2
Chevreuil 1027	-20,8	5,2	42,2	14,1	3,5

Tab. 27. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, % C, % N et C/N du collagène des restes osseux humains et animaux de Fontbrégoua.

La population humaine

On observe une variation du $\delta^{15}\text{N}$ du collagène de 0,6 ‰ (n = 9 ; 1 σ de \pm 0,2), elle est également de 0,6 ‰ (1 σ de \pm 0,2) pour le $\delta^{13}\text{C}$, au sein du groupe humain étudié. L'amplitude des valeurs isotopiques intra populationnelles est très faible, tout comme sur le site de la Baume Bourbon. Les protéines consommées par l'ensemble de ces individus sont isotopiquement similaires et il est probable que leur alimentation soit identique. Même si les individus de la structure H3 sont les mieux cernés chronologiquement (probablement du début du Néolithique moyen ; comm. pers. D. Binder), on peut remarquer que leurs valeurs isotopiques sont très proches des individus des autres structures (Fig. 43 ; Tab. 28). Enfin, signalons que les résultats isotopiques obtenus pour les deux fragments osseux de la structure H2 sont similaires ; ces deux fragments peuvent donc appartenir au même individu. Toutefois, l'ensemble des valeurs observées à Fontbrégoua est très homogène ce qui ne permet pas de proposer d'hypothèse quant au nombre d'individus de la structure H2.

	$\delta^{13}\text{C}$				$\delta^{15}\text{N}$			
	Moyenne	Min	Max	$\Delta^{13}\text{C}$	Moyenne	Min	Max	$\Delta^{15}\text{N}$
Restes humains (n = 9)	-19,9	-20,4	-19,8	0,6	9,5	9,2	9,8	0,6
Structure 1 (n = 3)	-20,1	-20,4	-19,8	0,6	9,5	9,4	9,5	0,1
Structure 2 (n = 2)	-20,2	-20,2	-20,1	0,1	9,3	9,2	9,3	0,1
Structure 3 (n = 3)	-19,8	-19,8	-19,8	0,0	9,6	9,2	9,8	0,6
Hors structure (n = 1)	-19,8	-	-	-	9,7	-	-	-

Tab. 28. Moyenne, minimum, maximum et variation des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des restes humains par structure.

Relation Homme/animal

La différence de valeurs isotopiques du collagène entre la moyenne des herbivores domestiques (bœufs et moutons) et celle de la population humaine est de + 0,2 ‰ pour le $\delta^{13}\text{C}$ et de + 3,9 ‰ pour le $\delta^{15}\text{N}$ (Fig. 43). Le $\delta^{13}\text{C}$ de la population humaine diffère peu de celui des herbivores domestiques. En revanche, la différence observée entre les $\delta^{15}\text{N}$ de la population humaine et ceux des animaux domestiques indique que la majeure partie des protéines consommées par les individus humains sont animales. Les études archéozoologiques menées sur le site soulignent d'une part que les conséquents rejets de boucherie attestent une consommation importante de viande (Binder, 2005) et qu'une partie importante des ressources carnées sont issues des animaux sauvages (Villa *et al.*, 1985). Par ailleurs, les valeurs isotopiques des taxons sauvages qui ont pu être analysés (cervidés) sont similaires aux caprinés en ce qui concerne le $\delta^{15}\text{N}$ et font partie des plus faibles valeurs en ce qui concerne le $\delta^{13}\text{C}$. Une contribution importante de ces espèces aux protéines de l'alimentation est possible compte tenu des différences observées entre ces animaux et les hommes ($\Delta \delta^{13}\text{C}$ de 0,7 ‰ et $\Delta \delta^{15}\text{N}$ de 4,8 ‰), mais elle ne peut être clairement mise en évidence par les analyses isotopiques en raison de l'absence de distinction isotopique nette entre les faunes sauvages et domestiques. Les $\delta^{15}\text{N}$ enregistrés chez le groupe humain peuvent également indiquer une consommation de ressources dulcicoles, peut-être en complément des ressources terrestres. Les $\delta^{15}\text{N}$ enregistrés chez des consommateurs de ressources dulcicoles (Tab. 29) sont plus élevés que celles observées dans la population humaine de ce site (Schwarcz, 1991 ; van Klinken *et al.*, 2000), mais l'absence d'analyse sur ce type de ressources (la tortue cistude notamment), ne permet pas d'aller plus loin dans les hypothèses.

Par ailleurs, il est essentiel de prendre en compte un fait archéo-anthropologique majeur sur ce site : **l'absence de contexte sépulcral clairement défini**. En effet, ces individus ont été retrouvés dans un contexte très particulier et assez rare, similaire à un « rejet de boucherie ». La question est alors de savoir si ces individus vivaient réellement dans ce milieu ou dans un milieu différent de celui du site archéologique dans lequel ils ont été retrouvés ; dans ce dernier cas de figure, la faune analysée sur ce site n'est par conséquent pas une bonne référence pour connaître la place de la population humaine dans la chaîne alimentaire.

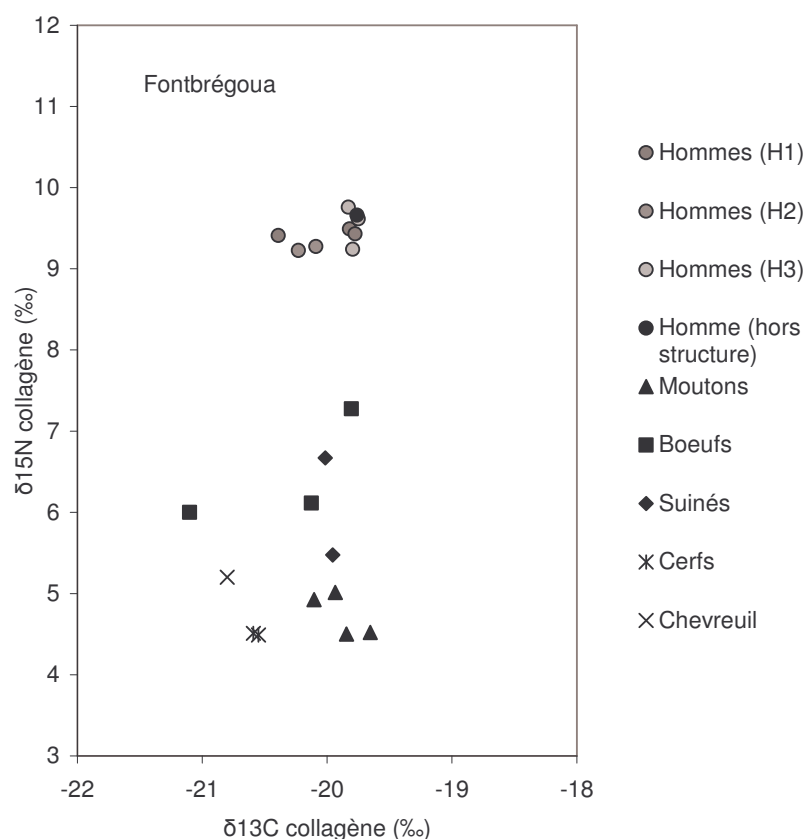


Fig. 43. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du collagène des restes osseux animaux et humains de Fontbrégoua

Estimation de la proportion des ressources aquatiques dans les protéines consommées	$\delta^{13}\text{C}$ collagène osseux (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ collagène osseux (‰)
86 %	-18,7	15,7
81 %	-18,9	15,3
43 %	-19,5	11,9

Tab. 29. Exemples de moyennes des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du collagène osseux chez des consommateurs de ressources aquatiques mésolithiques et néolithiques en Europe (Bonsall *et al.*, 2004 ; Cook *et al.*, 2001)⁴⁵.

d. Synthèse de l'étude de la Baume Fontbrégoua

D'une manière générale, la matière organique des restes humains et des animaux de la Baume Fontbrégoua est bien conservée. Seuls trois restes humains et un suiné n'ont pas pu être intégrés à la discussion. Plusieurs observations sont mises en évidence dans cette analyse :

- la variation de $\delta^{15}\text{N}$ qui existe entre l'ensemble de la population humaine et la faune herbivore est grande (+ 3,9 ‰). Ceci peut être mis en relation avec l'importance de la consommation de protéines issues de ressources animales.

⁴⁵ Dans ces études, les hautes valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ que l'on peut observer sont dues à la consommation d'espèces anadromes.

- L'amplitude des valeurs isotopiques au sein du groupe humain est très faible et aucun individu ne se distingue.
- La consommation de ressources dulcicoles est une hypothèse à ne pas négliger même si l'importance de la consommation de ressources terrestres semble être, pour le moment, l'hypothèse à privilégier. En effet, d'une part, le site présente des restes d'une activité cynégétique intense, et d'autre part, excepté la tortue cistude (Cheylan et Courtin, 1976), pour laquelle nous ne possédons pas de valeurs isotopiques pour ce site, aucun reste de faune ne va dans le sens d'une consommation de ressources d'eau douce.
- La particularité anthropologique et archéologique de ce site nous met en garde quant à la fiabilité de la comparaison des valeurs isotopiques de la population humaine de Fontbrégoua et de la faune. Il n'est pas improbable que la différence importante de $\delta^{15}\text{N}$ observée entre les individus humains et la faune herbivore soit tout simplement le reflet d'une origine géographique distincte des hommes retrouvés sur ce site.

L'une des perspectives de cette étude est d'obtenir quelques restes de cistude afin de voir si sa consommation pouvait être importante.

2 - Le Rastel (Peillon, Alpes-Maritimes, France)

a. Contexte archéologique

a.1 Le site archéologique

Le site archéologique du Rastel fut découvert en 1961, sur la commune du Peillon (Alpes-Maritimes ; Fig. 44). Cette grotte se situe à proximité de la cime du Rastel à une altitude de 645 m. La première étude anthropologique a été menée et publiée par Barral et Primard en 1962 (Barral et Primard, 1962) puis une revue du matériel est publiée en 1982 (Constandse-Westermann *et al.*, 1982). L'ensemble du matériel archéologique et anthropologique est actuellement conservé au Musée d'Anthropologie préhistorique de Monaco, sous la direction de P. Simon.



Fig. 44. Localisation du site archéologique du Rastel, Le Peillon, Alpes-maritimes, France.

a.2 Études archéologiques et environnementales réalisées

Les recherches de Barral en 1962 indiquent que des coquilles marines, dont certaines étaient perforées, représentent les seuls éléments fauniques (Barral et Primard, 1962). Outre ces restes, la fosse sépulcrale contenait des éléments d'industries lithiques « atypiques » conduisant l'auteur à attribuer cette couche, et donc le squelette, au Mésolithique.

Une revue complète et exhaustive du matériel archéologique de ce site a été réalisée par D. Binder en 2006 (Le Bras-Goude *et al.*, sous presse). Cette étude a permis de mettre en évidence que les éléments clairement définis comme mésolithiques sont peu nombreux et qu'un bon nombre de témoins archéologiques peut être attribué au Néolithique. Parmi ces derniers, on

note la présence de tessons de céramique gravée et des pièces lithiques dont l'une présente un lustre de faucille. En ce qui concerne le matériel associé au contexte sépulcral, des éléments néolithiques sont également présents, à savoir une lame de faucille et une perle en coquillage. Enfin, l'observation plus précise d'un cliché de la sépulture publié par Barral montre la présence d'un parement de dalles similaire aux dispositifs sépulcraux des Arene Candide.

a.3 Études anthropologiques réalisées

C'est dans la couche 5 que fut découvert un squelette relativement complet (Barral et Primard, 1962). L'individu était inhumé en position « fortement repliée » sur le côté gauche, dans une fosse entourée de dalles (Fig. 45). De l'ocre rouge fut déposé sur certaines parties du squelette (*ibid.*). Ce travail nous apporte un certain nombre d'informations sur le squelette : caractéristiques métriques, estimation de l'âge, du sexe, de la stature et également l'état sanitaire. Les dents sont usées, particulièrement les incisives, les canines et aussi les prémolaires. Des caries sont présentes sur une molaire supérieure, et des résorptions du bord alvéolaire s'observent sur la mandibule et le maxillaire. Des ostéophytes ou débuts d'ostéophytes sont retrouvés autour de la plupart des zones articulaires. On notera également la présence d'une fracture du radius gauche, et la présence d'un morceau de silex inséré dans le sacrum, sans trace d'infection apparente (Constandse-Westermann *et al.*, 1982). L'estimation de l'âge au décès (25-40 ans) a initialement été effectuée à partir de l'observation de l'ossification des segments du sacrum et du degré de fermeture des sutures crâniennes (*ibid.*) ; un réexamen réalisé par Constandse-Westermann et collaborateurs (1982), utilisant l'attrition dentaire, la symphyse pubienne et les sutures crâniennes a réduit l'intervalle de l'estimation de l'âge entre 35 et 40 ans (*ibid.*). Le sexe de l'individu a été estimé selon les recommandations de Ferembach *et al.* (Ferembach *et al.*, 1979) et déterminé comme masculin (Constandse-Westermann *et al.*, 1982).



Fig. 45. L'homme du Rastel (Barral et Primard, 1962).

b. Datations

Compte tenu des rares découvertes d'ossements humains pré-néolithiques dans ces régions, une datation carbone-14 s'est révélée indispensable. En effet, les quelques restes archéologiques associés n'ont pas permis de définir l'appartenance exacte au Mésolithique ou bien à une autre période. Une datation radiométrique a donc été faite par le laboratoire MPI-EVA sur la matière organique extraite pour les analyses isotopiques, une fois le résultat de ces dernières obtenues. La datation carbone-14, parvenue en décembre 2005, est la suivante : 5770 ± 40 BP (4715-4520 BC cal.⁴⁶ ; KIA-28339). Cet individu n'est donc pas mésolithique mais néolithique, daté du début de la phase la plus ancienne du Néolithique moyen, des Vases à Bouches Carrées (VBQ1) (comm. pers. D. Binder). A la suite de cette datation, la revue du matériel archéologique présentée précédemment (*cf.* § a.2) a été réalisée par D. Binder, étayant ainsi l'attribution chronologique de cette sépulture.

⁴⁶ La calibration, donnée à $\pm 2\delta$, est effectuée selon Stuiver *et al.* (1998), « CALIB rev 4.3 », par le laboratoire de Kiel (Allemagne).

c. Estimation de l'âge au décès : nouveaux éléments

Compte tenu de l'ancienneté de l'étude de l'homme du Rastel (1962-1982) et du développement de nouvelles méthodes d'analyses anthropologiques ces dernières années, il nous a paru intéressant de revoir certaines données biologiques de cet individu, en particulier l'âge au décès. Nous avons réalisé l'estimation de l'âge au décès selon la méthode proposée par Schmitt à partir de la surface auriculaire des coxaux (Schmitt, 2001 ; 2005) ; l'âge estimé à 80 % de fiabilité est compris entre 20-49 ans (Fig. 46 ; annexe 7). Cette nouvelle estimation propose une fourchette d'âge plus large que celle proposée par l'étude de Constandse-Westermann et collaborateurs (1982), mais surtout elle offre la possibilité que ce sujet soit plus âgé que ce qu'avaient estimé les études précédentes. Ce nouveau résultat nous semble plus fiable face aux difficultés de l'estimation de l'âge au décès des adultes à partir des restes osseux (Schmitt, 2002).



Fig. 46. Coxal gauche de l'individu du Rastel (cliché Musée d'anthropologie préhistorique de Monaco).

d. Étude isotopique

d.1 Échantillonnage

L'échantillon est un fragment de côte, relativement bien conservé et prélevé par P. Simon au Musée d'anthropologie préhistorique de Monaco. Cette pièce a été nettoyée dans des bains d'acétone (Schoeninger *et al.*, 1989) afin d'enlever les traces de consolidant déposé lors des fouilles dans les années soixante.

d.2 État de conservation de la matière organique et analyses isotopiques

Le collagène de cet individu a été analysé aux laboratoires MPI-EVA et Iso-Analytical. Les proportions de carbone et d'azote présentes dans cet échantillon sont très correctes tout

comme le rapport C/N (Tab. ; Fig. 47), ce qui nous permet de poursuivre l'analyse et valider les valeurs isotopiques obtenues pour cet individu.

% C	% N	C/N	Rendement (mg/g)	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
45,9	15,8	3,4	14,9	-19,6	8,7

Tab. 30. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, % C, % N et C/N du collagène du reste osseux de l'homme du Rastel.

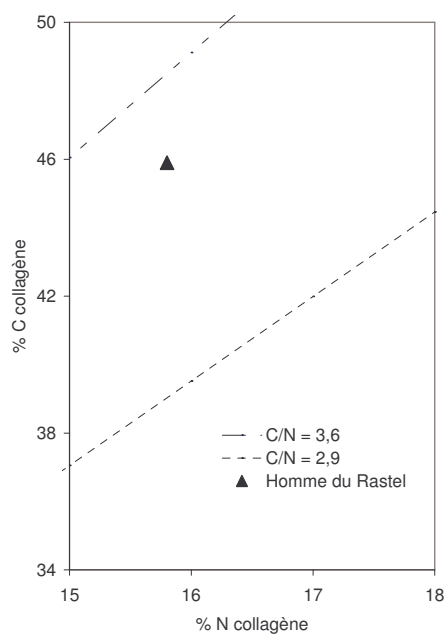


Fig. 47. Teneur en carbone et en azote du collagène de l'échantillon osseux de l'homme du Rastel.

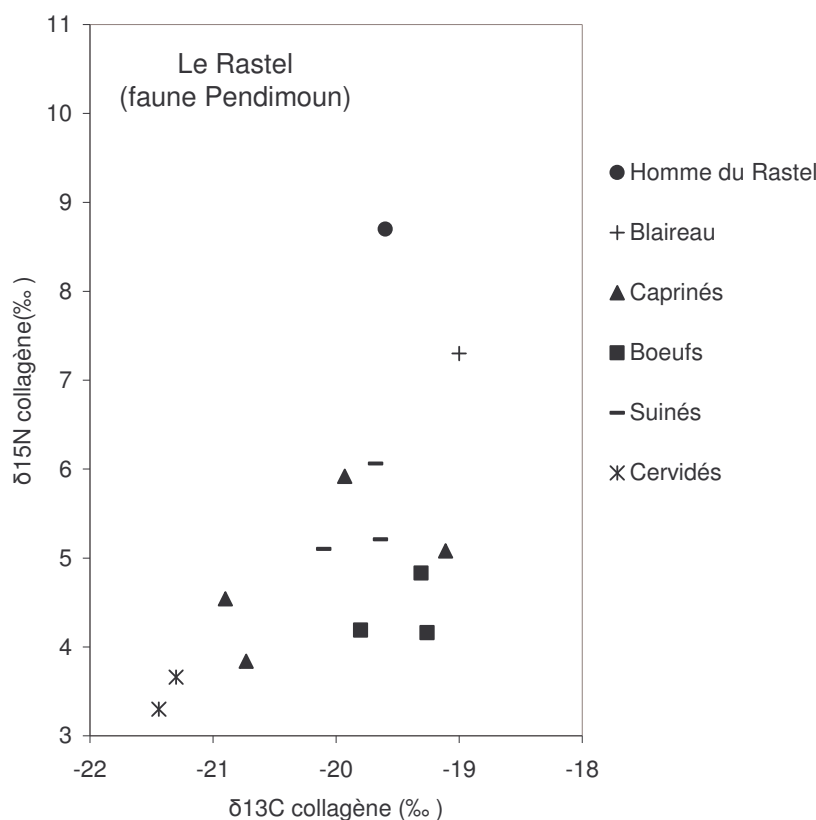


Fig. 48. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du collagène des restes osseux animaux de Pendimoun et de l'homme du Rastel

e. Synthèse de l'étude du Rastel

L'absence d'analyse sur des restes osseux animaux de ce site ne nous permet pas d'interpréter les résultats isotopiques du collagène obtenus sur le squelette. Afin de palier cette lacune, nous avons choisi de replacer les données isotopiques de l'individu du Rastel par rapport à celles des animaux du site de Pendimoun, géographiquement proche et dont l'environnement est similaire. L'étude de ce dernier site a livré un certain nombre de données environnementales sur le Néolithique ancien mais également sur la faune des périodes VBQ (Tab. 31). Nous remarquons que le $\delta^{15}\text{N}$ du collagène osseux de l'individu du Rastel est beaucoup plus élevé (3,8 ‰) que et le $\delta^{15}\text{N}$ moyen de la faune herbivore domestique du site de Pendimoun alors que pour le $\delta^{13}\text{C}$ la différence entre l'individu humain et la moyenne de faune herbivore est faible (+ 0,2 ‰). La différence de valeurs isotopiques du collagène entre l'homme du Rastel et les caprinés domestiques de Pendimoun est de 3,9 ‰ pour le $\delta^{15}\text{N}$ et de 0,5 ‰ pour le $\delta^{13}\text{C}$, ce qui suggère une relation de type proie-prédateur. Par ailleurs, tout comme pour les hommes de Pendimoun, la différence relative en $\delta^{13}\text{C}$, entre l'individu humain et les autres espèces tels que le bœuf et les

suinés, est négative (Fig. 48). L'ensemble de ces résultats suggère que la majeure partie des protéines de l'alimentation de l'homme du Rastel sont animales et que les caprinés y contribuent probablement majoritairement. Cette hypothèse est appuyée par les résultats de l'étude archéozoologique du site de Pendimoun qui indiquent qu'au VBQ les petits ruminants et particulièrement le mouton dominant le cheptel (Tab. 31).

Taxons	VBQ NR	VBQ %
Carnivores indét	1	0,1
Blaireau	3	0,4
<i>Martes</i> sp.	1	0,1
<i>Sus</i> sp.	70	9,8
Grands ruminants indet	8	1,1
<i>Bos</i> sp.	35	4,9
Petits ruminants indét	278	39,0
Chevreuril	1	0,1
Caprinés indét	17	2,4
<i>Ovis/Capra</i>	193	27,1
<i>Ovis</i>	97	13,6
<i>Capra</i>	6	0,8
Lagomorphes indét	1	0,1
Lièvre	1	0,1
Total	712	100
Grands ruminants	43	6,0
Petits ruminants	592	83,1
<i>Ovis</i> (%) pondérés	555,7	78,1
<i>Capra</i> (%) pondérés	34,4	4,8

Tab. 31. Nombre de restes et fréquences des différentes espèces animales présentes dans les couches VBQ du site de Pendimoun. Etude réalisée par L. Gourichon (Binder, 2003).

Concernant la consommation de ressources sauvages, les valeurs isotopiques des cervidés de Pendimoun se distinguent des autres taxons par des $\delta^{13}\text{C}$ et des $\delta^{15}\text{N}$ faibles. Les valeurs isotopiques de l'homme du Rastel sont beaucoup plus élevés que celles de cet animal et ne sont pas en faveur d'une consommation importante de ces derniers ; cette hypothèse est par ailleurs appuyée par les données archéozoologiques qui soulignent la faible présence des espèces sauvages dans l'assemblage faunique de la période VBQ à Pendimoun (Tab. 31). Enfin, nous observons que le $\delta^{13}\text{C}$ de cet individu est dans la variabilité de ceux enregistrés pour la faune terrestre, ainsi il est peu probable que les ressources marines composent une part essentielle des protéines consommées. Ces hypothèses sont bien entendu valides si l'on considère que les ressources acquises par cet individu ont été prélevées dans un environnement similaire à celui du site de Pendimoun.

3 - Les Arene Candide (Finale Ligure, Savone, Italie)

a. Contexte archéologique

a.1 Le site archéologique

Cette cavité tient son nom d'une dune de sable blanc d'origine éolienne. Elle se situe à 90 m d'altitude sur le promontoire de Caprazoppa (Fig. 49). Sa découverte date de 1864, période à laquelle fut mis au jour du matériel archéologique, aujourd'hui disparu (Maggi, 1997). De véritables fouilles archéologiques commencèrent en 1940 avec les travaux de L. Bernabò Brea et Cardini puis continuèrent avec les recherches de S. Tiné dans les années soixante-dix. La séquence stratigraphique des Arene Candide s'étend du Paléolithique supérieur jusqu'à l'époque romaine (Fig. 52).



Fig. 49. Localisation du site archéologique des Arene Candide, Finale Ligure, Savona, Ligurie, Italie.

Les restes archéologiques et anthropologiques sont exposés aux Musées archéologiques de Finale Borgo et de Genova-Pegli sous la direction respective de G. Vicino et P. Garibaldi. De nombreuses publications ont été effectuées sur ce site et notamment deux importantes monographies qui regroupent les données archéologiques sur les périodes néolithiques (*Il neolitico nella caverna delle Arene Candide : scavi 1972-1977* ; *Arene Candide : a functional and environmental assessment of the holocene sequence : excavations Bernabò Brea-Cardini 1940-50*).

a.2 Études archéologiques et environnementales réalisées

Vers 7000 BP, la culture représentée sur le site est celle de la céramique imprimée (ou *Impressa*). L'étude de la faune terrestre et marine indique que l'activité économique alimentaire est tournée à la fois vers les ressources marines et vers la faune sauvage et d'élevage, tels que les caprinés (Tab.) pour l'exploitation du lait et de la viande (Fig. 51 ; Rowley-Conwy, 1997).

Par ailleurs, l'une des particularités de cette période est la présence en grande quantité de poissons de type raies et requins (Tab.) ; l'ensemble des espèces ichtyologiques consommées viennent toutes du milieu côtier, principalement pêchées à la belle saison (Desse-Berset et Desse, 1999). D'après les travaux réalisés par Desse-Berset et Desse (1999), la présence de poisson comme le requin n'avait pas uniquement un but alimentaire, elle a pu connaître d'autres exploitations (la peau de Chondrichthyens est d'ailleurs encore actuellement utilisée comme abrasif). Les nombreux restes de mollusques retrouvés sur le site ont été étudiés par C. Cade (1999). Ils proviennent tous du milieu marin littoral proche (Tab.) et fournissent une bonne partie des ressources alimentaires, comme ce que l'on observe sur la plupart des sites côtiers (Cade, 2004).



Fig. 50. Vase à bouche carrée du Néolithique moyen des Arene Candide (www.museoarcheofinale.it)

A partir de 6000-5700 BP, la culture du Néolithique moyen des *Vasi a Bocca Quadrata* (VBQ) est représentée dans la grotte ; le nom de cette culture est lié à la particularité typologique des poteries de la période (Fig. 50). Les espèces marines y sont encore très présentes et la consommation et/ou l'utilisation du requin y semble plus importante qu'à la phase précédente (Tab.; Desse-Berset et Desse, 1999). La diminution observée des restes de mollusques marins s'accompagne d'une spécialisation des espèces consommées (Tab.) et peut-être, plus

particulièrement recherchées pour des considérations esthétiques (Cade, 1999 ; 2004). Pour Francalacci (1988), la présence moins conséquente de reste de mollusques marins pourrait venir du changement de vocation de la grotte, qui devient plus funéraire.

La consommation de ressources animales terrestres est préférentiellement tournée vers les espèces domestiques (Tab.), largement dominées par le groupe des caprinés pour l'exploitation de la viande (Fig. 51), de façon croissante au cours du temps (Rowley-Conwy, 1997). D'une manière générale, le Néolithique moyen se caractérise par une importante diminution des activités de chasse, pêche et cueillette (Maggi, 1977). Il est intéressant de remarquer que sur ce site, malgré sa position géographique et les nombreux témoignages d'activités de subsistance dirigées vers le milieu marin, la grotte des Arene Candide a été occupée de manière intensive tout le long du Néolithique, particulièrement pour des activités pastorales importantes et ce autant au Néolithique ancien que moyen. Ces activités s'exercent au détriment de la chasse qui diminue très fortement au cours du temps (Tab.), excepté pour les suinés dont l'espèce sauvage reste très majoritairement présente tout le long du Néolithique (Rowley-Conwy, 1997 ; Sorrentino, 1999).

Le paysage végétal, étudié sur toute la séquence chronologique du Néolithique des Arene Candide, montre l'installation dominante de la chênaie caducifoliée (Castelletti et Castiglioni, 1999). Les études anthracologiques et palynologiques quant à elles signalent un changement de l'exploitation des ressources végétales, principalement à partir du début du Néolithique moyen. La déforestation et la culture des céréales, tel que l'orge, en sont les principaux témoins (Arobba *et al.*, 1997 ; Branch, 1997 ; Nisbet, 1997). Concernant le matériel céramique, lithique, la parure et l'industrie osseuse, nombreux de ces artefacts ont fait l'objet d'études très développées (Giomi, 1999 ; Odetti, 1999 ; Starnini, 1999), confirmant l'importance de l'activité humaine tout au long du Néolithique sur ce site.

	VBQ1 NR	VBQ1 %
Caprinés	3632	77,1
Suinés	767	16,3
Bovins	21	2,4
Cerf	9	1
Chevreuril	2	0,2

Tab. 32. Nombre de restes et fréquences des espèces de faune terrestres au Néolithique ancien et au VBQ1. Étude de Rowley-Conwy (1997).

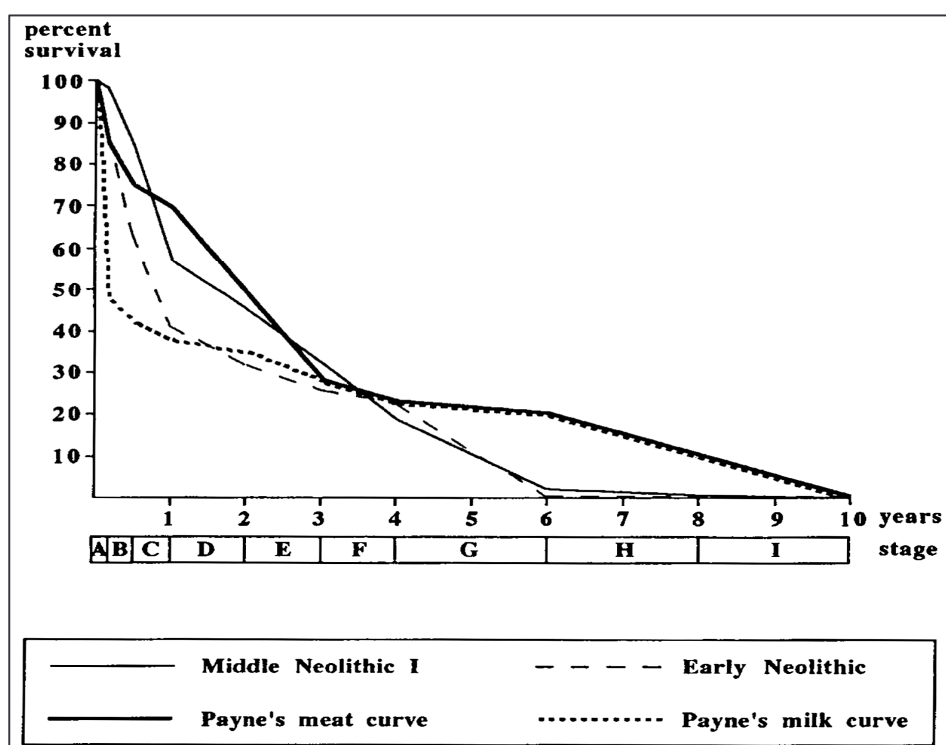


Fig. 51. Pourcentages de survie des caprinés (chèvres-moutons) sur le site des Arene Candide au Néolithique ancien et au VBQ comparés aux courbes d'exploitation laitière et de la viande (fig. issue de Rowley-Conwy, 1997 p. 220).

	Néolithique ancien		VBQ	
	NR	%	NR	%
Condriichthyens				
Requin- <i>Galeorhinus galeus</i>	8	7,9	13	33,3
Emissole lisse- <i>Mustelus mustelus</i>	18	17,8	3	7,7
Ange de mer- <i>Squatina squatina</i>			1	2,6
Raie- <i>Raja alba</i>	4	4		
Raie- <i>Raja brachyura</i>	11	10,9		
Sélaciens indét			1	2,6
Téléostéens				
Labre- <i>Labrus</i> sp.	4	4	2	5,1
Bar- <i>Dicentrarchus labrax</i>			2	5,1
Mulet- <i>Mugil aurata/capito</i>	10	9,9	5	12,8
Mérou- <i>Epinephelus</i> sp.	17	16,8	3	7,7
Sar- <i>Diplodus</i> sp.	3	3		
Pagre- <i>Pagellus</i> sp.	1	1		
Dorade- <i>Sparus aurata</i>	1	1	1	2,6
Dorade- <i>Sparus pagrus</i>	17	16,8	8	20,5
Sparidae indet	7	6,9		
Total déterminés	101	100	39	100
Indet	23		15	
Total général	124		54	

Tab. 33. Nombre de restes et fréquences de poissons au Néolithique ancien et au VBQ sur le site des Arene Candide. Etude de Desse Berset et Desse (1999).

Biotopes	c-15 Cardial Fréquence	c-14 Cardial Fréquence	c-13 VBQ Fréquence	c-12d VBQ Fréquence	c-12abc VBQ Fréquence
Substrat rocheux médiolittoral	13 espèces 46,5 %	10 espèces 47,5 %	18 espèces 57,1 %	12 espèces 48,1 %	10 espèces 43,9 %
Substrat rocheux infralittoral	10 espèces 50,6 %	6 espèces 38,3 %	13 espèces 26,1 %	14 espèces 29 %	13 espèces 31,7 %
Sable infralittoral	7 espèces 2 %	3 espèces 2,4 %	12 espèces 2,2 %	7 espèces 7,4 %	12 espèces 15,1 %
Algues infralittorales			1 espèce 0,06 %		
Vase infralittorale	2 espèces 0,06 %	1 espèce 0,2 %	5 espèces 0,1 %	2 espèces 0,6 %	3 espèces 0,4 %
Substrat rocheux circalittoral	1 espèce 0,06 %		1 espèce 0,4 %	1 espèce 1,6 %	1 espèce 2,7 %
Sable-vase circalittoral	1 espèce 0,03 %	1 espèce 0,2 %	2 espèces 0,06 %	1 espèce 0,2 %	2 espèces 0,8 %

Tab. 34. Nombre d'espèces et fréquence en fonction du type de biotope pour les périodes cardiale et VBQ. Etude réalisée par C. Cade (1999).

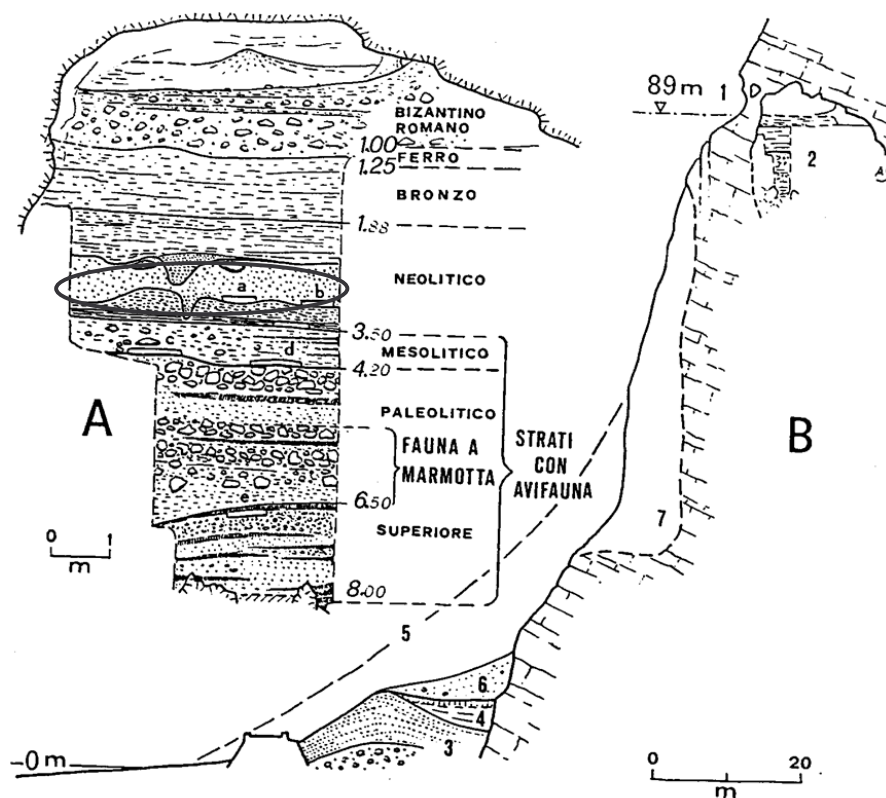


Fig. 52. A : stratigraphie des Arene Candide et position des sépultures. La zone étudiée est entourée ; B : Section de la grotte à la mer (fig. issue de Cassoli, 1980) (Bietti, 1987).

a.3 Études anthropologiques réalisées

Les restes humains néolithiques que nous connaissons à ce jour ont été retrouvés dans le niveau néolithique moyen (Fig. 52). Les sépultures du Néolithique moyen VBQ, sont généralement des tombes en ciste⁴⁷ et certains individus portent des traces d'ocre rouge, pratique courante parmi les paléolithiques de la même grotte. Les fouilles archéologiques de 1940-1950 effectuées par de Bernabò Brea ont mis au jour 13 sépultures, parmi lesquelles sept ont pu être échantillonnées⁴⁸ (annexe 20).

Parmi ces sépultures, un adolescent tuberculeux (5BB) a été étudié par Formicola et collaborateurs (Formicola *et al.*, 1987). Cette étude révèle que l'adolescent masculin d'environ 15 ans, est gracile et petit ; il présente des lignes de Harris et des hypoplasies de l'émail dentaire sur la troisième molaire. Ces indicateurs de stress biologique sont probablement le signe de troubles de croissance qui sont apparus au début de l'adolescence à la suite de la maladie infectieuse. Cet individu est également caractérisé par une cyphose, due à la lyse du tissu osseux au niveau des dernières vertèbres thoraciques (Fig. 53). Ces observations ont conduit les auteurs à diagnostiquer un cas de tuberculose spondylitique (Formicola *et al.*, 1987). L'adolescent était inhumé selon les habitudes de la région (ciste, ocre rouge et fléchi sur le côté gauche) pour les adultes et subadultes (Fig. 54). Pour Formicola et collaborateurs (1987), cette pratique témoignerait de l'achèvement du statut social de l'individu malgré ses infirmités. Le sujet a été daté par carbone-14 à 6570 ± 35 BP (5559-5476 BC cal. ; ⁴⁹KIA-28340) ; cette date est en deçà des limites connues pour la culture VBQ (comm. pers. V. Formicola). Ce cas de tuberculose n'est pas isolé pour la période et la région puisque un autre site de Ligurie, l'Arma dell'Aquila, a livré des restes humains dont ceux d'une femme âgée atteinte de cette pathologie (Canci *et al.*, 1996b).



Fig. 53. Colonne vertébrale de l'adolescent tuberculeux néolithique des Arene Candide (Canci et Formicola, 1997)

⁴⁷ Coffre de pierre (Robert, 1986).

⁴⁸ La dénomination BB correspond aux fouilles Bernabò Brea et la dénomination T correspond aux fouilles Tiné.

⁴⁹ Datation engagée par le laboratoire MPI-EVA et réalisée en décembre 2005 au laboratoire de Kiel (Allemagne). Dates BC calibrées à deux sigmas selon Stuiver *et al.* (1998) ; « CALIB rev 4.3 ».

Le sujet de la tombe 3 BB est un homme âgé de plus de 30 ans (45 ans d'après l'auteur) présentant une tumeur bénigne, un ostéome, sur la région pariétale (Formicola, 1997). Celui-ci est inhumé dans une tombe à ciste qui fait probablement partie des couches 22 à 24 du site (Del Lucchese, 1997). L'individu 7 BB est une femme jeune, également inhumée dans une fosse délimitée par des dalles de pierres (Formicola, 1997), dans la couche 22. Ce sujet présente une dégénération de l'articulation du poignet (*ibid.*). Le squelette 2BB est un adulte de sexe indéterminé, inhumé dans une tombe à ciste, couchée sur le côté gauche. La tombe fait probablement partie des couches 22 à 24 du site (Del Lucchese, 1997). Le sujet 4BB est une femme jeune (20-25 ans d'après l'auteur) inhumée dans une tombe à ciste, couchée sur le côté gauche, et située dans la couche 24 du site (Del Lucchese, 1997). L'individu 6BB est un homme jeune, inhumé dans une tombe à ciste située derrière la tombe de l'individu 5BB et couché sur le côté gauche. Une meule colorée par de l'ocre était placée sur la poitrine de l'individu. Enfin, le sujet 9BB est une femme âgée, inhumée sur le côté gauche dans une tombe à ciste. La sépulture appartient à une période antérieure à celle de la couche 21 (Del Lucchese, 1997).

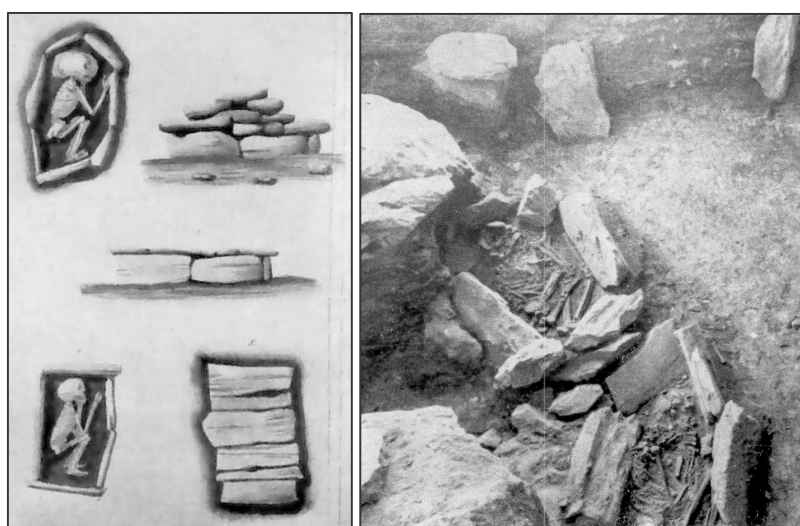


Fig. 54. Croquis de sépultures (manuscrit de 1888) et photos de Bernabò Brea de sépultures fouillées en 1940 (iconographie issue de Maggi, 1997).

Parmi les individus mis au jour par les fouilles Tiné, nous avons pu échantillonner les sujets 3T et 1T, étudiés par Canci et collaborateurs (Canci *et al.*, 1999) et l'individu 2T, étudié par Canci et collaborateurs (*ibid.*) et Formicola (Formicola, 1999). Ici également les individus sont notés par le numéro attribué à la fouille et l'initiale T :

- l'individu 2T, de sexe masculin, fut inhumé dans une structure sans aménagement lithique. Sur ce squelette, on note la présence d'ocre rouge. Parmi les pathologies, la présence d'une ostéochondrose sur une vertèbre lombaire (lésion résultant d'une dégénérescence du disque intervertébral et du cartilage) (Vyhanek *et al.*, 1999) amène les auteurs à penser que cet individu a subi un stress intensif et récurrent dû au portage de

lourdes charges. Ce sujet présente également des caries, une perte dentaire *ante mortem*, du tartre et une parodontose sur les bords alvéolaires des molaires ainsi qu'une forte attrition des dents antérieures probablement liée à un usage non alimentaire. Enfin, la présence de lignes de Harris sur l'extrémité distale des tibias conduit à diagnostiquer un stress non spécifique. La stature de l'individu a été estimée à 160 cm et son âge aux alentours de 40 ans (Canci *et al.*, 1999).

- L'individu 3T est un enfant de 8-9 ans, peut-être de sexe masculin d'après les auteurs. Cependant compte tenu des difficultés que l'on connaît quant à l'estimation du sexe des enfants à partir du squelette (Cox et Mays, 2000 ; Scheuer et Black, 2000 ; Coqueugniot *et al.*, 2002), cette information est à prendre avec précaution. Cet enfant présente des *Cribra orbitalia*, une denture déciduale comportant des attritions, notamment sur les canines et les molaires. De l'hypoplasie linéaire de l'émail dentaire est visible sur les incisives mandibulaires, témoignant d'un stress nutritionnel et/ou d'une maladie apparue chez l'individu entre 2 et 4 ans. Ces observations sont complétées par la présence de lignes de Harris, visibles en radiographie sur le fémur et le tibia, mettant en évidence, d'après les auteurs, plusieurs stress survenus aux alentours de 2-3 ans et de 6-7 ans. L'enfant est inhumé en position latérale gauche dans une sépulture sans aménagement lithique ; son corps est recouvert d'ocre rouge. L'absence de ciste dans ce cas pourrait évoquer une différence de statut social de l'enfant, ou des enfants en général, par rapport aux adolescents et aux adultes (Formicola, 1999).
- L'individu 1T est déterminé comme étant un sujet masculin d'environ 20 ans (Canci *et al.*, 1999). Ce jeune homme possède entre autre du tartre, une parodontopathie localisée sur une incisive mandibulaire et une usure dentaire modérée. Des traces de périostites (inflammation de la membrane de l'os, le périoste ; Huss-Ashmore *et al.*, 1982) sur l'extrémité distale du tibia, indiquent probablement un stress durant la calcification du squelette. Enfin, la présence d'entésopathie sur les humérus témoigne une activité manuelle intense et répétitive. Ce sujet est inhumé en position fortement contractée dans une tombe à ciste.

L'étude des populations préhistoriques de la Ligurie montre que d'une manière générale, les populations humaines de la culture VBQ présentent des *cribra orbitalia* peu fréquentes à la différence des hypoplasies de l'émail dentaire (Formicola, 1987 ; 1997). La stature des individus est peu élevée, aux alentours de 160 cm pour les hommes et 150 cm pour les femmes (Formicola, 1997 ; Canci *et al.*, 1999). Les taux de caries sont estimés aux alentours de 80 % et la perte dentaire *ante mortem* aux alentours de 50 %. Les lésions infectieuses sont bien documentées autant aux Arene Candide que sur le site de l'Arma dell'Aquila (Formicola *et al.*, 1987 ; Canci *et al.*, 1996a) et les lésions traumatiques semblent toucher environ 40 % de la population. Les attritions dentaires rencontrées chez ces populations peuvent être développées par une

alimentation riche en éléments abrasifs (fibres, aliments moulus), mais l'usage non alimentaire (activités paramasticatrices) de la denture favorise également ce phénomène (Canci *et al.*, 1999 ; Formicola et Canci, 2003).

b. L'alimentation sur le site des Arene Candide : une question approfondie

A la fin des années 80, Francalacci (1988 ; 1989 ; Francalacci et Borgognini Tarli, 1988) propose une reconstitution de l'alimentation, aux Arene Candide entre autre, des individus épigravettiens et néolithiques moyens. Le dosage des éléments traces (tels que le baryum, le cuivre, le magnésium, le strontium, le vanadium et le zinc) sur la partie minérale des os a permis d'appréhender certains aspects des modes de subsistance, notamment lors de la néolithisation. D'après l'auteur, la consommation d'animaux terrestres sauvages et d'une part probablement importante de mollusques marins est mise en évidence par les fortes teneurs en zinc chez les épipaléolithiques. Toutefois, précisons qu'exceptées les huîtres, les mollusques et crustacés marins sont généralement moins riches en Zn que la viande (Trémolières *et al.*, 1977 ; *USDA nutrient database*⁵⁰). Au Néolithique moyen, l'auteur signale la continuité de la consommation de malacofaunes marines, par la présence de hautes teneurs en zinc. Pour celui-ci, la présence de caries dans la population du Néolithique moyen n'est pas un argument en faveur de changements alimentaires puisque l'on retrouve également des caries au Néolithique ancien alors que l'alimentation serait proche de celle de l'Épipaléolithique. Il en serait de même pour les proportions de viande et de végétaux consommées qui ne différeraient pas entre l'Épipaléolithique et le Néolithique ancien dans la mesure où seul le mode d'approvisionnement change. Enfin, la présence de faisselle sur le site et la faible concentration de baryum seraient en faveur d'une consommation importante de produits laitiers. Par ailleurs, les analyses isotopiques réalisées sur quelques échantillons néolithiques et épipaléolithiques (*cf.* chap. V § B) montrent une consommation importante de protéines animales terrestres et, d'après Francalacci (1988), une possible consommation régulière de mollusques marins.

c. Datations

Plusieurs datations ont été réalisées au cours des années de fouilles (Maggi, 1997 ; Maggi et Chella, 1999) sur charbons et os :

- les niveaux de la culture *Impressa* sont datés de 5800-5000 BC cal⁵¹. (6900-6150 BP), correspondant aux couches 28 à 25 ;

⁵⁰ <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/Data/SR18/nutrlist/sr18a309.pdf>

⁵¹ Les datations ont été réalisées dans différents laboratoires : Pise, Rome et Beta. La calibration est effectuée avec le programme « Calib 3.1 » de Stuiver et Reimer (1993) (Maggi et Chella, 1999).

- les niveaux de la culture VBQ phase 1 sont datés de 4900- 4600 BC cal. (6000-5700 BP), correspondant aux couches 24 à 18 ;
- ceux de la culture VBQ phase 2 sont datés de 4600-4300 BC cal. (5700-5400 BP), correspondant aux couches 15 à 17.

d. Étude isotopique

d.1 Échantillonnage

A l'origine, une quarantaine d'individus composaient la population néolithique des Arene Candide mais un bon nombre de squelettes ont été perdus ou est mal attribués chronologiquement (Francalacci, 1989). L'échantillonnage a donc été effectué sur les squelettes des niveaux datés du Néolithique moyen VBQ1, avec l'aide de V. Formicola (Directeur de Recherches à l'Université de Pise), P. Garribaldi (Conservatrice du Musée archéologique de Gênes-Pegli) et G. Vicino (Conservateur du Musée archéologique de Finale Borgo). L'échantillon comporte 4 hommes, 3 femmes, 1 individu non sexé, 1 adolescent et 1 enfant, dont certains sont décrit précédemment (annexe 20). Un échantillon de faune a également fait l'objet d'analyses isotopiques. Il se compose de 13 pièces osseuses issues d'animaux domestiques et sauvages de régimes alimentaires différents. Cet échantillonnage a été réalisé avec l'aide de V. Formicola ainsi que de l'archéozoologue C. Sorrentino.

d.2 État de conservation de la matière organique

Le collagène des ossements des Arene Candide a été étudié aux laboratoires Iso-Analytical et MPI-EVA. Les proportions de carbone et d'azote du collagène des ossements des Arene candide s'étendent respectivement de 19,4 % à 47,4 % et de 5,8 % à 16,6 % (Tab.; annexe 21). L'ensemble du collagène des échantillons est correct excepté pour l'individu féminin 4BB qui est exclu de la discussion (Fig. 55).

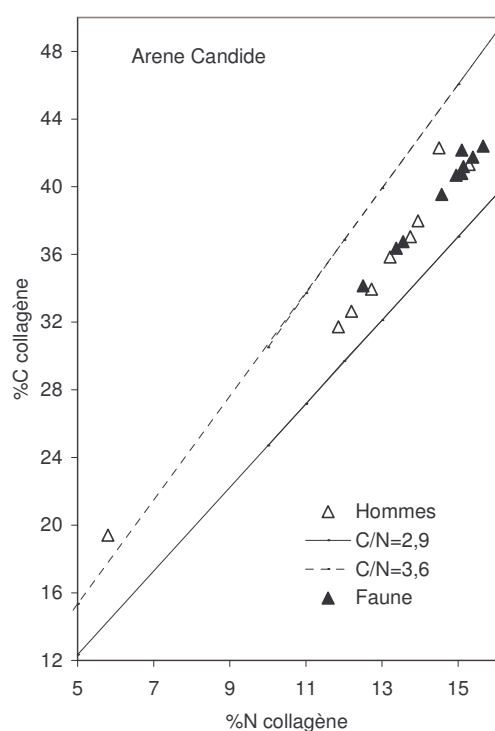


Fig. 55. Teneur en carbone et en azote du collagène des restes osseux animaux et humains des Arene Candide.

	% C	% N	C/N	Rendement (mg/g)
Restes humains (n = 10)	35,6	12,9	3,2	35,4
Faune (n = 13)	40,8	14,9	3,2	29,2
Moyenne (n = 23)	38,2	13,9	3,2	31,9
Min	19,4	5,8	3,1	3,3
Max	47,4	16,6	3,9	68,9

Tab. 35. État de conservation du collagène des restes humains et animaux des Arene Candide.

d.3 Analyses isotopiques et interprétations

Parmi les 10 échantillons de restes humains, seul un individu (4BB) ne présente pas un état de conservation correct et est exclu de la discussion. Par ailleurs, l'individu masculin 3BB, même si les critères de conservation sont respectés, a été également écarté de la discussion après l'analyse isotopique en attendant un autre prélèvement et un nouveau résultat (*cf. infra*).

Les animaux

Les valeurs isotopiques du collagène de la faune diffèrent selon les espèces : les bovins (*Bos sp.*) ont un $\delta^{13}\text{C}$ de $-19,9 \text{ ‰}$ ($n = 2$; 1σ de $\pm 0,4$) et un $\delta^{15}\text{N}$ de $4,8 \text{ ‰}$ (1σ de $\pm 0,2$) ; les

caprinés domestiques ont un $\delta^{13}\text{C}$ de $-20,6\text{‰}$ ($n = 5$; 1σ de $\pm 0,5$) et un $\delta^{15}\text{N}$ de $5,0\text{‰}$ (1σ de $\pm 1,2$). Les suinés (*Sus* sp.) ont un $\delta^{13}\text{C}$ de $-20,9\text{‰}$ ($n = 3$; 1σ de $\pm 0,6$) et un $\delta^{15}\text{N}$ de $4,8\text{‰}$ (1σ de $\pm 0,9$) indiquant que leur régime alimentaire est principalement composé de ressources végétales. Enfin, les cervidés (chevreuil et cerf) ont un $\delta^{13}\text{C}$ de $-21,4\text{‰}$ ($n = 3$; 1σ de $\pm 1,0$) et un $\delta^{15}\text{N}$ de $4,3\text{‰}$ (1σ de $\pm 0,9$). Les plus faibles valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ observées chez les cervidés sont peut-être dues à la fréquentation de milieux fermés (sous-bois) dans lesquels les végétaux ont des $\delta^{13}\text{C}$ plus faibles que ceux de milieux plus ouverts (van der Merwe et Medina, 1991 ; Froment et Ambrose, 1995).

La population humaine

Les valeurs isotopiques du collagène des restes humains s'étendent de $-21,1\text{‰}$ à $-19,4\text{‰}$ pour le $\delta^{13}\text{C}$ et de $6,2\text{‰}$ à $9,4\text{‰}$ pour le $\delta^{15}\text{N}$. Ces résultats nous montrent que les ressources marines ne composent pas l'essentiel des protéines de l'alimentation de la population humaine des Arene Candide. En effet, les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ du collagène sont certes beaucoup plus élevées que celles des animaux terrestres du site mais les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ sont dans la variabilité de celles enregistrées pour la faune terrestre du site. Il est donc probable que l'alimentation de ces individus soit très riche en protéines issues de ressources carnées terrestres (van Klinken *et al.*, 2000). Par ailleurs, les résultats obtenus mettent en évidence que l'individu 3BB possède des valeurs isotopiques similaires à celles de la faune herbivore. Un régime de type végétalien chez l'Homme n'est pas viable et cette observation nous pousse à savoir si le fragment osseux échantillonné n'est pas celui d'un animal⁵². Effectivement, il n'est pas rare que des remplacements osseux partiels par des restes issus de séries archéologiques différentes ou bien de faune soient fait pour des raisons esthétiques, lors d'exposition dans les musées. Une autre hypothèse à envisager est la consommation de protéines majoritairement issues de légumineuses par ce sujet. En effet, ces végétaux fixateurs d'azote, tels que les pois et les gesses, ont des $\delta^{15}\text{N}$ généralement plus faibles que les végétaux non fixateurs (Letolle, 1980 ; Mariotti, 1982 ; Virginia et Delwiche, 1982). Peu études sur du matériel archéologique ont fait mention de ce type de cas, néanmoins un travail récent réalisé sur une population du PPNB en Anatolie (Néolithique Pré-Céramique B ; 8500-9500 BC cal.) souligne que ces végétaux pouvaient prendre une place importante dans l'alimentation humaine, et être responsables des faibles $\delta^{15}\text{N}$ (équivalant à ceux de la faune herbivore) observés chez les consommateurs (Lösch *et al.*, 2006). Cette hypothèse reste toutefois à nuancer car la présence de légumineuses sur le site des Arene Candide est très faible. Un prélèvement sur une autre partie anatomique (fragment vertébral confié par V. Formicola) du squelette de cet individu a été réalisé, malheureusement ce fragment osseux ne contenait pas suffisamment de collagène pour permettre une analyse isotopique. Une seconde

⁵² Lors de l'échantillonnage, effectué avec l'aide de l'anthropologue V. Formicola, la partie anatomique échantillonnée était en position anatomique et sa morphologie nous semblait tout à fait humaine.

extraction et une analyse de contrôle ont été réalisées sur le premier fragment osseux (côte) ; les nouveaux résultats indiquent exactement les mêmes teneurs en carbone et en azote et les mêmes résultats isotopiques que dans la première analyse. Le cas de cet individu mériterait d'être discuté plus en détail avec des spécialistes ; pour l'instant, nous avons choisi de le considérer en marge de l'interprétation des valeurs isotopiques humaines.

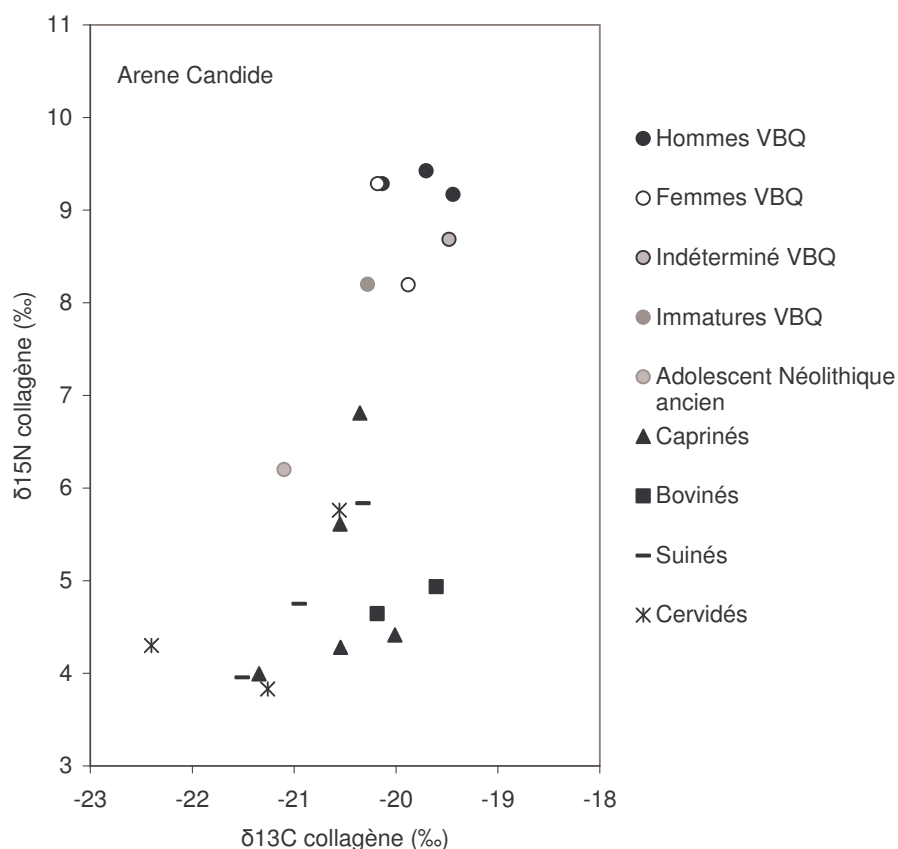


Fig. 56. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du collagène des restes osseux animaux et humains des Arene Candide.

Relation Homme/animal

Il existe une différence de valeurs isotopiques moyennes du collagène entre les individus humains et la faune, qui est plus ou moins importante selon les individus. On remarque que les adultes des Arene Candide ont en moyenne un $\delta^{15}\text{N}$ du collagène supérieur de 3,3 ‰ par rapport à la faune herbivore domestique et un $\delta^{13}\text{C}$ supérieur de 0,8 ‰ (Tab. ; Fig. 56). La différence de $\delta^{15}\text{N}$ est importante, équivalente à celle observée entre deux niveaux trophiques successifs. En revanche, la différence de $\delta^{13}\text{C}$ entre la population humaine et la faune n'est pas assez grande pour évoquer que les ressources marines contribuent de façon importante aux protéines de l'alimentation. Ces résultats indiquent que l'alimentation des individus adultes est probablement riche en protéines issues de ressources carnées terrestres. Deux études étayaient cette hypothèse. La

première est l'étude archéozoologique réalisée sur le cortège faunique du Néolithique ancien et moyen qui met en évidence une gestion des caprinés, en particulier les moutons, vers la production de lait et de viande (Rowley-Conwy, 1997 ; Fig. 51). La deuxième est l'étude de Francalacci et Borgognini Tarli (1988) qui note la présence importante de zinc dans les ossements des individus du Néolithique. Les ressources carnées terrestres (viande et dans une moindre mesure les produits laitiers) sont riches en zinc⁵³ et les fortes teneurs que ces aliments contiennent se retrouvent chez les consommateurs. Ainsi, la présence en quantité importante de cet élément chimique décelée par l'étude des éléments traces, l'étude archéozoologique et la mise en évidence d'une consommation de ressources carnées terrestres importante par notre étude isotopique sont des informations complémentaires qui vont dans le même sens.

	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	% C	% N	C/N
1T	-19,4	9,2	41,0	13,9	3,4
2T	-20,1	9,3	41,2	14,0	3,4
3T	-20,3	8,2	31,8	10,8	3,4
2BB	-19,5	8,7	39,9	13,7	3,4
3BB	-20,9	4,7	45,3	15,7	3,3
5BB	-21,1	6,2	42,3	14,5	3,4
6BB	-19,7	9,4	50,2	17,4	3,3
7BB	-20,2	9,3	34,4	11,7	3,4
9BB	-19,9	8,2	45,3	15,7	3,3
Boviné 1	-20,2	4,6	41,1	13,8	3,5
Boviné 2	-19,6	4,9	46,4	15,5	3,5
Mouton 1	-20,6	5,6	42,5	14,3	3,4
Mouton 2	-20,0	4,4	47,6	16,1	3,4
Capriné 3	-21,3	4,0	44,0	14,7	3,5
Capriné 4	-20,5	4,3	38,7	12,8	3,5
Capriné 5	-20,4	6,8	49,7	17,7	3,3
Suiné 1	-20,3	5,8	55,2	18,7	3,4
Suiné 2	-21,0	4,8	47,0	16,4	3,3
Suiné 3	-21,5	4,0	47,7	16,1	3,4
Chevreuril 1	-21,3	3,8	39,8	13,8	3,3
Cerf 2	-20,6	5,8	43,9	15,2	3,4
Cerf 3	-22,4	4,3	47,4	16,6	3,3

Tab. 36. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, % C, % N et C/N du collagène des restes osseux humains et animaux des Arene Candide.

Parmi les individus immatures, seul l'individu 5BB se détache du reste de la population avec des différences de valeurs isotopiques par rapport à la faune herbivore domestique moins importantes que pour les adultes : + 1,2 ‰ pour le $\delta^{15}\text{N}$ et - 0,5 ‰ pour le $\delta^{13}\text{C}$. Notons que cet individu appartient à une période chronologique antérieure aux autres sujets.

L'exploitation des ressources terrestres sauvages, en particulier les grands herbivores (cerf-chevreuril) ne peut pas être mise en évidence par l'étude isotopique car les valeurs isotopiques du collagène des cervidés sont dans la variabilité de celles enregistrées pour les autres

⁵³ Source USDA Nutrient database : <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/Data/SR18/nutrlist/sr18a309.pdf>

taxons. La consommation de ressources dulcicoles est possible, mais elle ne semble pas l'hypothèse la plus pertinente. En effet, les consommateurs de ces ressources ont des $\delta^{13}\text{C}$ plus faibles que les animaux terrestres domestiques (van Klinken *et al.*, 2000), mais aucun reste animal de milieu d'eau douce n'a été retrouvé sur le site.

Analyse comparative des données biologiques et archéologiques

La richesse anthropologique et archéologique du site des Arene Candide a permis quelques comparaisons avec les données isotopiques, notamment au sujet du sexe, de l'âge au décès et des pathologies.

❖ Le sexe et l'âge

La comparaison des valeurs isotopiques du collagène des individus, de sexe masculin et ceux de sexe féminin sur le site des Arene Candide, signale qu'aucune différence significative ($p < 0,05$) n'est observée (test non paramétrique U de Mann-Whitney) autant pour le $\delta^{15}\text{N}$ que pour le $\delta^{13}\text{C}$. Toutefois, sur ce site, comme à Pendimoun, les $\delta^{15}\text{N}$ les plus faibles sont généralement enregistrés chez les sujets féminins. La comparaison est malgré tout difficile à réaliser compte tenu de la faible taille de l'échantillon et des très faibles effectifs d'individus sexés que nous avons pu étudier. Par ailleurs, on remarquera que, comme à la Baume Bourbon, les plus faibles valeurs isotopiques de l'azote sont enregistrées dans le collagène des individus immatures.

❖ Pathologies et consommation de produits laitiers : une relation ?

Appréhender la production et la consommation du lait est une problématique importante permettant de connaître les usages et la gestion du cheptel (Vigne et Helmer, 2004 ; Guilaine, 2005) dès les phases les plus anciennes du Néolithique (Vigne, 2005). La production laitière peut être mise en évidence par l'étude des courbes d'abattage des animaux (Gourichon, 2004), les analyses biochimiques sur les tissus animaux (Balasse *et al.*, 2002) et les résidus organiques contenus dans les poteries (Dudd *et al.*, 1999 ; Evershed *et al.*, 2002 ; Craig *et al.*, 2005). Cependant, ces études ne sont pas toujours effectuées ou même réalisables. L'hypothèse d'une production laitière, comme moteur du développement de l'élevage dès le début du Néolithique, proposée par Vigne (2005), suggère que la consommation des produits laitiers devait être importante. Ce système de production était probablement également associé à une organisation plus complexe de réseaux d'échanges (Helmer et Vigne, 2004).

Sur le site des Arene Candide, deux individus adultes masculins, 1T et 2T, présentent le même type de pathologie : du tartre et une maladie du parodonte, et ces sujets possèdent également les $\delta^{15}\text{N}$ les plus élevés de la population du site. Le développement du tartre, qui

favorise les problèmes du parodonte (Polet et Orban, 2001), peut être mis en relation avec une alimentation riche en produits alcalins et en protéines (Lieverse, 1999) (*cf.* Chap. II § B). Parmi les ressources alimentaires correspondant à ces critères, le lait et les produits laitiers sont de bons candidats (Trémolières *et al.*, 1977). Rappelons que l'étude des éléments traces, et plus particulièrement l'observation des quantités de baryum dans la partie minérale des ossements humains des Arene Candide (Francalacci et Borgognini Tarli, 1988), avait déjà signalé l'importance possible des ressources alcalines tels que les produits laitiers dans l'alimentation de ces sujets. Cette hypothèse peut également être appuyée par la découverte d'un cas de tuberculose osseuse chez un adolescent du même site. La tuberculose (causé par le *Mycobacterium bovis* ou le *M. tuberculosis (hominis)*⁵⁴) est une maladie infectieuse présente dans les populations humaines depuis le développement de l'agropastoralisme, c'est-à-dire depuis la promiscuité avec le cheptel domestique et ses maladies (Yesner, 1980 ; Aufderheide *et al.*, 1998). Sur le site des Arene Candide, les restes osseux de l'adolescent atteint font actuellement l'objet d'une étude ADN ; cet individu est le plus ancien cas de tuberculose osseuse connu actuellement (comm. pers. V. Formicola). Si les analyses révèlent la présence du *M. bovis*, un argument supplémentaire pourrait alors étayer l'hypothèse d'une consommation laitière, car cette infection est transmise par la voie digestive, par le lait (Orland, 2003) et viandes mal cuites. Néanmoins, contrairement aux individus adultes décrits précédemment, cet adolescent présente les plus faibles valeurs isotopiques et ce sur l'ensemble de la population des phases anciennes du Néolithique. Malheureusement, il n'est pas possible actuellement de savoir avec certitude si les valeurs isotopiques observées chez cet individu :

- sont dues à une alimentation moins riche en protéines animales que les autres individus (ou liées à la consommation de légumineuse) ;
- si le fait d'avoir une alimentation plus pauvre en protéines animales, et éventuellement des carences vitaminiques et minérales associées, sont des facteurs favorisant la vulnérabilité de l'individu à la maladie (Steckel *et al.*, 2002) ;
- si des paramètres physiologiques liés à l'état sanitaire particulier de cet individu ont eu un rôle sur le métabolisme et la synthèse des protéines ;
- si l'état physique du sujet limite sa capacité à consommer les aliments.

Il existe un autre cas de tuberculose en Ligurie pour la même période sur le site de l'Arma dell'Aquila (Canci *et al.*, 1996b), et il serait intéressant de pouvoir analyser le collagène osseux des restes humains et les animaux de ce site afin de voir quel est le comportement alimentaire de la femme, âgée, atteinte par cette maladie et d'apporter de nouvelles informations sur ce problème.

⁵⁴ Terminologie issue de Berthet (2006).

Enfin, on peut remarquer que les individus présentant les plus hautes valeurs de $\delta^{15}\text{N}$, notamment 7BB, 2T et 1T, sont ceux pour lesquels l'étude anthropologique a mis en évidence des caractères ostéologiques témoignant d'actions physiques répétées (cf. § a.3). La question est alors de savoir s'il existe une relation entre le travail effectué par ces sujets et l'accès plus important aux ressources riches en protéines animales.

❖ La présence de l'ocre dans les pratiques funéraires

Les sujets inhumés aux Arene Candide présentent pour certains (5BB, 2T et 3T) des dépôts d'ocre rouge ; ce dépôt minéral est également attesté sur une meule associée au sujet 6BB. Ce dernier individu possède le $\delta^{15}\text{N}$ le plus élevé de la population du site mais ne se distingue pas des autres sujets masculins.

e. Synthèse de l'étude des Arene Candide

Dans l'ensemble les ossements humains et animaux du site des Arene Candide ont une matière organique bien conservée. Les proportions de carbone et d'azote sont proches de celles d'un os frais. Deux restes humains n'ont malheureusement pas pu intégrer la discussion : l'individu 4BB dont le collagène est mal conservé et l'individu 3BB qui, par prudence vis-à-vis des résultats isotopiques, a été provisoirement écarté de la discussion.

Il faut également noter que d'après les études de Cade (Cade, 1999), la collecte des mollusques marins au Néolithique ancien suivait probablement une tradition mésolithique. Nous avons vu que, contrairement à ce que l'on pensait, les ressources marines ne semblent pas prépondérantes au Néolithique moyen. Cependant, il est vrai que cette période est différente de celles pour lesquelles un bon nombre de mollusques marins ont été mis au jour : Epipaléolithique et Néolithique ancien. Les agropasteurs du Néolithique moyen, VBQ, n'ont apparemment pas eu un grand intérêt à exploiter des ressources marines, si ce n'est pour des considérations particulières, esthétiques par exemple. De même l'individu 5BB, dont la datation remonte au Néolithique ancien, possède des valeurs isotopiques n'attestant absolument pas la consommation de ressources marines, ce qui ne corrobore pas les données malacologiques. Néanmoins, compte tenu du caractère pathologique de ce sujet, et de la présence d'un seul individu pour cette période, ce résultat ne permet pas de statuer sur l'importance des ressources halieutiques dans le régime alimentaire des populations humaines au Néolithique ancien sur ce site.

Enfin, précisons que pour Francalacci (1989) et Formicola (1997) il n'existe pas sur ce site de réels changements alimentaires lors de la néolithisation, même au Néolithique moyen : seule la nature de l'acquisition des ressources change, c'est-à-dire de ressources produites au lieu

de ressources chassées ou collectées, mais l'origine de l'essentiel des protéines de l'alimentation des individus humains, en l'occurrence carnée, est identique (Francalacci, 1989 ; Pettitt *et al.*, 2003). Du point de vue des nouvelles données isotopiques, cette dernière hypothèse semble pertinente.

* * *

Chapitre IV - Le Montbolo et le Chasséen méridional : étude des sites archéologiques

A - Cadre de l'étude

Le travail effectué sur le Chasséen méridional est intégré à une Action Collective de Recherche, coordonnée par Jean Vaquer (UMR 8555, Toulouse) intitulée : « *Espaces et expressions funéraires au Néolithique moyen dans le monde pyrénéen et ses marges* ». L'objectif de ce travail collectif est de discuter plusieurs points pour lesquels la documentation est incomplète en ce qui concerne le versant nord-est des Pyrénées et d'apporter des éléments de réflexion pour l'étude d'un ensemble géographique plus large (avec la zone catalane notamment). Les éléments discutés sont les pratiques funéraires (sépultures liées aux habitats, pérennité des dépôts funéraires en grotte, émergence des « hypogées », utilisation funéraire des dispositifs d'enceinte) et par extension la symbolique, le statut social et l'aspect biologique et culturel de ces populations. Appréhender l'alimentation de populations du Néolithique moyen présente un enjeu majeur pour la compréhension des aspects économiques, sociaux et culturels. Dans ce cadre, l'étude de populations chasséennes méridionales comporte plusieurs aspects. Ces aspects sont, d'une part, l'intégration des résultats d'une analyse des modes de subsistance dans une perspective diachronique afin d'appréhender les relations éventuelles entre le développement de l'agropastoralisme sur les choix alimentaires et, d'autre part, effectuer une analyse intrasites afin de discerner l'existence possible des relations entre le mode d'inhumation, la zone géographique et des choix économiques liés au fonctionnement propre à chaque site. Ce dernier point s'attache particulièrement à cerner la distinction entre les « éleveurs mobiles en zone de montagne » et les « agriculteurs de plaine » (comm. pers. J. Vaquer) et la corrélation entre le système économique et les modes d'inhumations (Vaquer, 1998b). L'étude de l'alimentation par les analyses isotopiques de plusieurs populations Chasséennes (Cugnaux, Villeneuve-Tolosane et Narbons dans la Haute-Garonne) est également en cours de réalisation par E. Herrscher (UMR 6578, Marseille) dans le cadre de l'ACR. Le Chasséen ancien est plus particulièrement développé dans ce chapitre et d'une manière plus générale au cours de l'étude comparative et de la discussion.

B - Le Montbolo et le Chasséen méridional

Le Montbolo représente une culture située dans la zone géographique pyrénéenne dans laquelle les recherches menées sur le site éponyme de la Balma de Montbolo (Pyrénées-Orientales) en ont défini les principales composantes. Ce groupe régional se cadre chronologiquement entre la fin du Néolithique ancien et le début du Néolithique moyen, soit entre le milieu du V^e et le début du IV^e millénaire av. J.-C. Des caractéristiques qui lui sont propres (*e.g.* céramique, économie de subsistance) le définissent comme une culture à part entière (Guilaine, 1974 ; Treinen-Claustre, 1991).

1 - la grotte de Montou (Corbères-les-Cabanes, Pyrénées-Orientales, France)

a. Contexte archéologique

a.1 Le site archéologique

Le site archéologique de Montou se situe dans un réseau karstique des Pyrénées Orientales (Corbères-les-Cabanes) à environ trente kilomètres de la Méditerranée (Fig. 57). Cette grotte a fait l'objet de premières fouilles dans les années quarante puis dans les années soixante-dix et quatre-vingts par F. Claustre (UMR 8555, Toulouse). Plusieurs périodes sont représentées, du Paléolithique au Moyen Age, mais nous nous intéresserons plus particulièrement à la phase du Néolithique moyen Montbolo dit « chasséoïde » (Valentin *et al.*, 2003). Les ossements humains et animaux sont conservés au Musée de Céret sous la direction de F. Claustre, avec qui le choix des pièces ostéologiques a été effectué.



Fig. 57 Localisation du site archéologique de la grotte de Montou, Corbères-les-Cabanes, Pyrénées-Orientales, France.

a.2 Études archéologiques et environnementales réalisées

Le Montbolo est bien représenté dans la grotte autant pour les restes fauniques et anthropologiques que pour le mobilier (Claustre et Ponsich, 2000). Les fouilles ont révélé différents espaces dont l'un est à vocation sépulcrale et l'autre un secteur d'habitat. L'étude archéozoologique du site, réalisée par D. Loirat (2000), met en évidence une activité cynégétique développée (Fig. 58 ; Tab.) et une consommation importante de caprinés dont l'élevage est orienté vers l'exploitation de la viande d'agneau et la production de lait (Fig. 59). Le cochon est également exploité pour la consommation des jeunes individus et l'élevage du bœuf est orienté vers la production de viande (Fig. 59). Les lagomorphes semblent prendre une part conséquente dans le spectre faunique sauvage, cependant on ne connaît pas réellement le statut de ces derniers (chassés par l'Homme ou par d'autres animaux prédateurs ?).

Le spectre faunique sépulcral révèle la présence de mouton en grande quantité, puis du bœuf (Tab.), mais la faible quantité des restes osseux ne permet pas de fournir d'information sur la gestion des troupeaux (Loirat, 2000). Enfin, ce travail indique que le secteur sépulcral contenait une quantité de faunes immatures plus importante que dans le secteur d'habitat. Précisons que d'une manière générale au Néolithique moyen, les grottes sont interprétées comme des sites d'élevage situés sur des trajets entre la plaine et la montagne (Vaquer, 1998b).

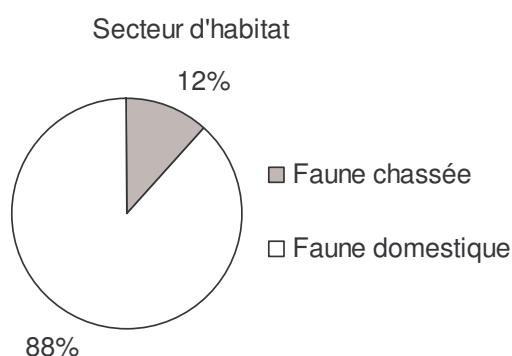


Fig. 58. Proportion des faunes sauvage et domestique dans le secteur d'habitat (Loirat, 2000).

	Habitat		Sépulture			Habitat		Sépulture	
	NR	%	NR	%		NR	%	NR	%
Carnivores	135	2,5	16	3,5	Chien	48	5,5	8	7
					Blaireau	38	4,5	3	2,5
					Lynx	6	0,5		
					Renard	14	1,5		
					Martre	1			
					Chat sauvage	2			
Gdts ruminants	552	11	51	10,5	Boeuf	75	8,5	20	18
					Cerf	11	1,5	1	1
Pts ruminants	2341	46	297	62	Mouton	530	60,5	55	49,5
					Chèvre	28	3	7	6
					Chevreuil	9	1	1	1
Suinés	787	15,5	74	15,5	Cochon	83	9,5	13	12
					Sanglier	5	0,5		
Lagomorphes	1187	23,5	35	7,5	Lapin	817		35	
					Lièvre	10			
Erinacéidés	11	0,5	1		Hérisson	11	1,5	1	1
Tortue	3				Cistude	3	0,5		
Oiseaux	34	1	5	1	Pigeon ramier	9	1	2	2
					Faisan	1			
					Oie rieuse	1			
					Perdrix rouge	1			
Total	5050	100	479	100		876	100	111	100

Tab. 37. Pourcentage du nombre de restes des différents taxons présents dans le secteur d'habitat et le secteur sépulcral. Etude réalisée par D. Loirat (2000).



Fig. 59. Répartition des classes d'âge et NR des restes dentaires des moutons, des cochons et des bœufs dans le secteur d'habitat. Etude réalisée par D. Loirat (2000).

a.3 Études anthropologiques réalisées

L'étude anthropologique, réalisée par F. Valentin et R. Donat (Valentin *et al.*, 2003) a mis en évidence sur ce site une sépulture collective, d'utilisation brève, similaire aux sépultures en fosses multiples du Chasséen (Fig. 60). Des connections anatomiques partielles dans l'ensemble de l'amas osseux ainsi que des cohérences anatomiques entre les parties disloquées du squelette ont cependant pu être discernées et étudiées (Valentin *et al.*, 2003). L'étude anthropologique a permis de dénombrer 10 individus : 5 adultes (notés de A à E) et 5 enfants (dont deux sont très jeunes et très fragmentaires)⁵⁵. Parmi ces individus, on trouve : un adulte masculin âgé qui a peut-être été contraint par des liens en matière périssable, quatre autres adultes des deux sexes et trois enfants dont les parties squelettiques sont bien représentées (Valentin *et al.*, 2003).

b. Datations

Le secteur sépulcral est daté du Néolithique moyen Montbolo chasséoïde, d'une part par une des datations radiométriques réalisées sur os humain : 5095 ± 60 BP (3996-3748 BC cal. Ly 8175⁵⁶) (Valentin *et al.*, 2003), et d'autre part par le mobilier associé (*ibid.*).



Fig. 60 La sépulture néolithique Montbolo de la grotte de Montou (Valentin *et al.*, 2003).

⁵⁵ L'estimation de l'âge au décès des immatures a été réalisée les anthropologues avec la méthode de Schour et Massler, 1941 à partir des restes dentaires .

⁵⁶ Les calibrations sont réalisées au laboratoire de Lyon d'après les études publiées dans la revue Radiocarbon (1993, Vol 35. n° 1) et un logiciel proposé par Mieczyslaw F. PAZDUR du Laboratoire de Radiocarbone de l'Université de Gliwice (Pologne).

c. Étude isotopique

c.1 Échantillonnage

L'échantillonnage de la population humaine a été réalisé sur les ossements utilisés pour établir le NMI (nombre minimal d'individus). En effet, en raison de la présence d'un dépôt funéraire collectif, la sélection des échantillons a dû être réalisée de manière à ne pas analyser deux fois le même individu. Un échantillon a donc été prélevé sur les 5 adultes et sur 2 enfants relativement complets. Parmi les ossements les mieux représentés, cinq paires de radius adultes étaient appariées. Cette partie anatomique a été échantillonnée, du côté droit ou gauche, en fonction de l'état de conservation et de l'intégrité des pièces osseuses. Notons également que l'étude anthropologique a déterminé la présence d'une femme âgée et de deux hommes (un jeune et un individu âgé) d'après les crânes, et une femme d'après le seul coxal préservé (Valentin *et al.*, 2003). Cependant, il n'est pas possible d'attribuer les crânes sexés avec les os échantillonnés. Pour les enfants, des os longs bien conservés ont été choisis. L'échantillonnage de la faune comprend 24 individus (sélectionnés dans le secteur sépulcral, donc relativement contemporains des individus humains), représentant les espèces disponibles et des régimes alimentaires variés : carnivores (chiens), omnivores (*Sus* sp.), et herbivores (grands et petits ruminants domestiques).

Les analyses élémentaires et isotopiques ont été effectuées dans plusieurs laboratoires.

c.2 État de conservation de la matière organique

MPI-EVA. Parmi les échantillons contenant du collagène, les proportions de carbone et d'azote s'étendent respectivement de 19,1 % à 49,8 % et de 6,2 % à 16,0 % (Tab. ; Fig. 61). Sont exclus de la discussion 5 échantillons en raison de la mauvaise conservation du collagène extrait.

EPOC. Parmi les échantillons contenant du collagène, les proportions de carbone et d'azote représentent 84,4 % et 87,9 % respectivement des proportions contenues dans un os frais (Tab. ; Fig. 61). Deux restes humains et 7 restes animaux sont exclus de l'interprétation en raison des faibles proportions d'éléments chimiques présents dans le collagène extrait.

	% C	% N	C/N	Rendement d'extraction (mg/g)
MPI-EVA				
Restes humains (n = 4)	42,9	14,6	3,4	27,1
Faune (n = 20)	34,0	12,0	3,3	24,2
Moyenne (n = 24)	35,5	12,4	3,3	24,7
Min	19,1	6,2	3,1	4,6
Max	49,8	16,0	3,6	64,5
EPOC				
Restes humains (n = 5)	32,4	12,3	3,1	55,8
Faune (n = 21)	33,5	12,2	3,2	59,5
Moyenne (n = 26)	32,9	12,3	3,2	58,6
Min	22,7	7,5	2,9	7,9
Max	43,3	15,8	3,4	145,7

Tab. 38. État de conservation du collagène des restes humains et animaux du site de Montou (Analyses MPI-EVA et EPOC).

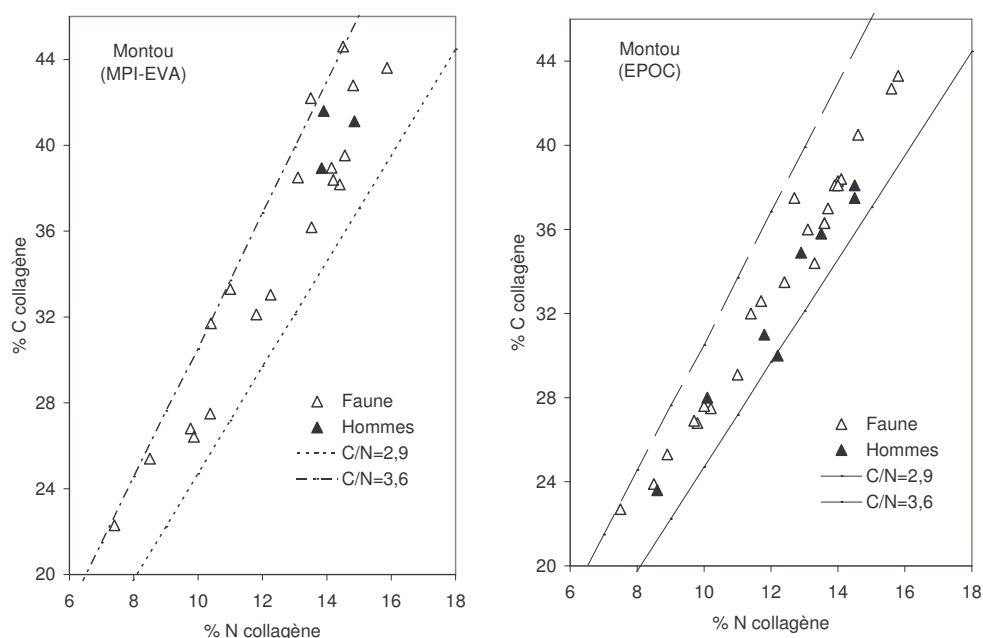


Fig. 61. Teneur en carbone et en azote du collagène des restes osseux animaux et humains de Montou (Analyses MPI-EVA et EPOC).

c.3 Analyses isotopiques et interprétations

Les animaux

MPI-EVA. Les $\delta^{13}\text{C}$ moyens du collagène des différentes espèces de faune sont très homogènes (

Tab.Tab. 39) : de $-19,9 \text{ ‰}$ ($\pm 1,7$ à 1σ ; $n = 3$) pour les bœufs à $-19,2 \text{ ‰}$ ($\pm 0,2$ à 1σ ; $n = 4$) pour les chiens. Concernant les $\delta^{15}\text{N}$, les espèces animales se distinguent et plus particulièrement les chiens par rapport aux autres espèces. En effet, les bœufs ont un $\delta^{15}\text{N}$ de $5,1 \text{ ‰}$ ($\pm 1,0$ à 1σ ; $n = 3$), les caprinés de $6,3 \text{ ‰}$ ($\pm 0,8$ à 1σ ; $n = 6$) et les suinés ont des valeurs comprises dans la variabilité de celles obtenues pour les herbivores domestiques : $5,8 \text{ ‰}$ ($\pm 0,9$ à 1σ ; $n = 3$). Pour les chiens, le $\delta^{15}\text{N}$ est de $8,8 \text{ ‰}$ ($\pm 0,7$ à 1σ ; $n = 4$), leurs valeurs isotopiques plus élevées que la faune herbivore et omnivore, témoignent d'un régime alimentaire plus riche en protéines animales.

EPOC. Parmi les échantillons de faune analysés, certains ne sont pas correctement conservés et sont exclus de l'étude (Tab. 39). Les $\delta^{13}\text{C}$ moyens des différentes espèces s'échelonnent de $-19,6 \text{ ‰}$ ($\pm 1,1$ à 1σ ; $n = 5$) pour les caprinés à $-18,8 \text{ ‰}$ ($\pm 0,5$ à 1σ ; $n = 4$) pour les chiens. Concernant les $\delta^{15}\text{N}$, les espèces animales se distinguent et plus particulièrement les chiens par rapport aux autres espèces. Le bœuf a un $\delta^{15}\text{N}$ de $5,7 \text{ ‰}$, les caprinés de $5,9 \text{ ‰}$ ($\pm 1,0$ à 1σ ; $n = 5$) et les suinés ont des valeurs comprises dans la variabilité de celles obtenues pour les herbivores domestiques : $5,7 \text{ ‰}$ ($\pm 1,4$ à 1σ ; $n = 4$). Pour les chiens, le $\delta^{15}\text{N}$ est de $8,4 \text{ ‰}$ ($\pm 0,5$ à 1σ ; $n = 4$) et leurs valeurs isotopiques plus élevées que la faune herbivore et omnivore témoignent ici également d'un régime alimentaire plus riches en protéines animales.

La population humaine

MPI-EVA. Au sein de la population humaine étudiée, il existe des différences de valeurs isotopiques, principalement pour l'azote. En effet, l'individu immature d'environ 7 ans se distingue des adultes ($9,1 \text{ ‰} \pm 0,9$ à 1σ ; $n = 3$) avec un $\delta^{15}\text{N}$ plus faible ($7,4 \text{ ‰}$). Ce type d'observation a déjà été fait au long de ce travail dans des séries archéologiques du Néolithique ancien notamment, mais elle n'est pas généralisée. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer cette différence : l'une métabolique et l'autre alimentaire. Toutefois, notons que les études de nutriments contrôlés et les études archéologiques montrent qu'il est difficile de connaître la part des facteurs physiologiques et comportementales (choix alimentaires) sur les $\delta^{15}\text{N}$ enregistrés (Katzenberg et Lovell, 1999 ; Ambrose, 2000) (*cf.* Chap. II § B.). Il n'est cependant pas improbable que ce jeune individu ait eu une alimentation différente des adultes, et dans ce cas moins riche en protéines animales. On peut remarquer également que l'individu adulte B possède un $\delta^{15}\text{N}$ plus faible ($8,1 \text{ ‰}$) que les deux autres adultes ($9,6 \text{ ‰} \pm 0,1$ à 1σ ; $n = 2$). Ici également une consommation de ressources moins riche en protéines animales est probable.

EPOC. Au sein du groupe humain étudié, le $\delta^{15}\text{N}$ d'un individu se distingue des valeurs isotopiques de l'azote des autres individus. Ce sujet particulier est l'adulte E dont le $\delta^{15}\text{N}$ est plus faible ($7,3 \text{ ‰}$) que les autres adultes ($8,6 \text{ ‰} \pm 0,6$ à 1σ ; $n = 2$). Une consommation, par cet individu, de ressources moins riches en protéines animales que les autres adultes, est probable.

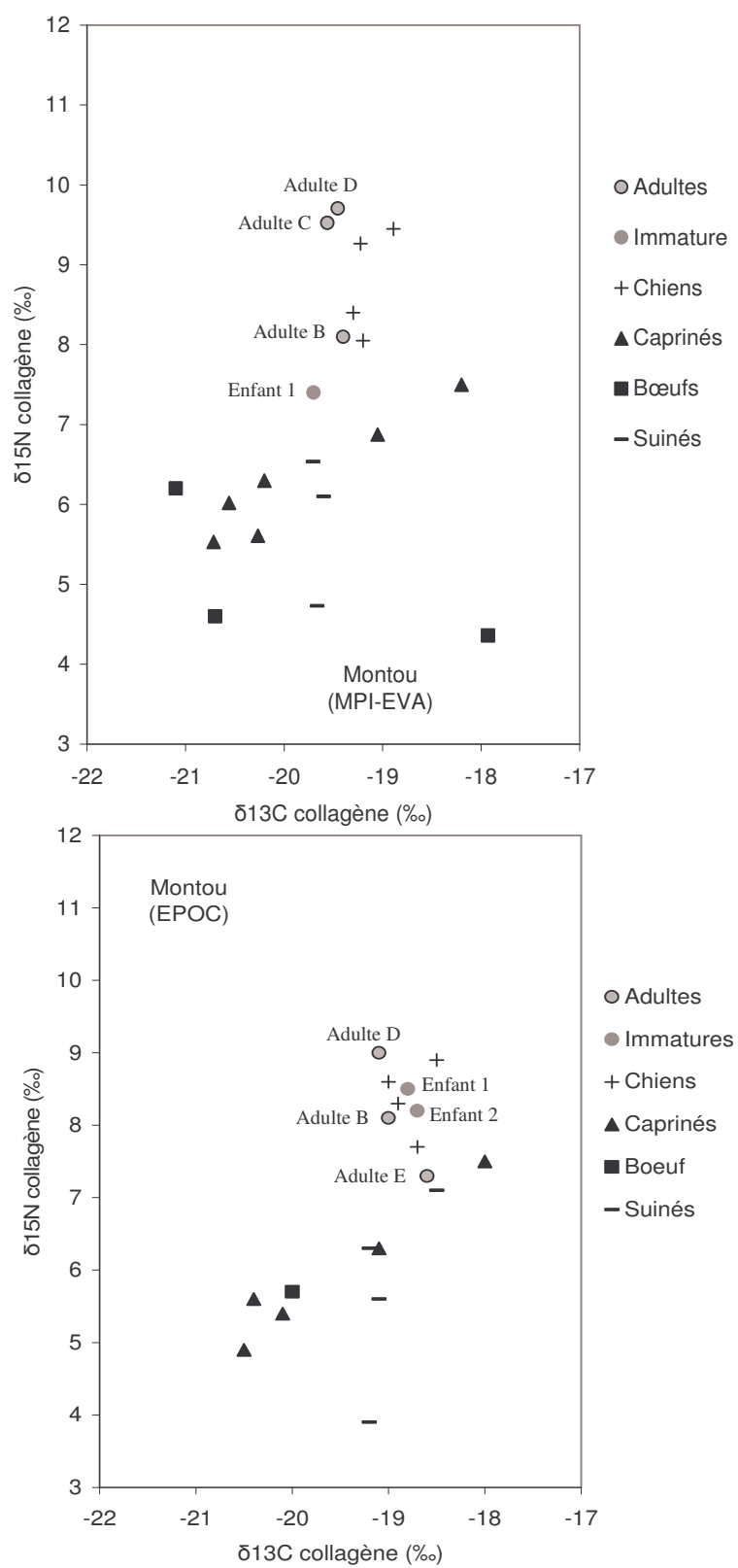


Fig. 62. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du collagène des restes osseux animaux et humains de Montou (analyses MPI-EVA et EPOC).

	MPI-EVA					EPOC				
	¹³ C (‰)	¹⁵ N (‰)	% C	% N	C/N	¹³ C (‰)	¹⁵ N (‰)	% C	% N	C/N
Adulte B	-19,4	8,1	41,6	13,9	3,5	-19,0	8,1	34,9	12,9	3,1
Adulte C	-19,6	9,5	38,9	13,8	3,3					
Adulte D	-19,5	9,7	41,1	14,9	3,2	-19,1	9,0	31,0	11,8	3,0
Adulte E						-18,6	7,3	30,0	10,2	2,9
Enfant 1	-19,7	7,4	49,8	16,0	3,6	-18,8	8,5	35,8	13,5	3,1
Enfant 2						-18,7	8,2	38,1	14,5	3,0
Chien 1	-19,2	9,3	43,6	15,9	3,2	-19,0	8,6	37,0	13,7	3,1
Chien 3	-18,9	9,5	44,6	14,5	3,6	-18,5	8,9	33,5	12,4	3,1
Chien 4	-19,3	8,4	33,3	11,0	3,5	-18,9	8,3	32,0	11,4	3,3
Chien 5	-19,2	8,1	42,8	14,8	3,4	-18,7	7,7	36,3	13,6	3,1
Bœuf 1	-17,9	4,4	33,0	12,3	3,1					
Bœuf 2	-20,7	4,6	42,2	13,5	3,6					
Bœuf 4						-20,0	5,7	32,6	11,7	3,2
Bœuf 5	-21,1	6,2	31,7	10,4	3,5					
Capriné 1	-20,6	6,0	38,2	14,4	3,1	-20,4	5,6	43,3	15,8	3,2
Capriné 2	-20,3	5,6	38,4	14,2	3,2	-20,1	5,4	42,7	15,6	3,2
Capriné 3	-20,2	6,3	44,6	14,5	3,6					
Capriné 5	-19,1	6,9	39,0	14,1	3,2	-19,1	6,3	29,1	11,0	3,1
Capriné 6	-18,2	7,5	38,5	13,1	3,4	-18,0	7,5	38,3	14,0	3,2
Capriné 7	-20,7	5,5	36,2	13,5	3,1	-20,5	4,9	36,3	13,6	3,1
Suiné 1						-18,5	7,1	36,0	13,1	3,2
Suiné 2						-19,1	5,6	38,1	13,9	3,2
Suiné 3	-19,7	6,5	27,5	10,4	3,1	-19,2	6,3	34,4	13,3	3,0
Suiné 4	-19,7	4,7	39,5	14,6	3,2	-19,2	3,9	38,4	14,1	3,2
Suiné 5						-19,5	5,2	38,1	14,0	3,2

Tab. 39. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, % C, % N et C/N du collagène des restes osseux humains et animaux de Montou (analyses MPI-EVA et EPOC).

Relations Homme/animal

MPI-EVA. Tout comme les autres espèces animales, la population humaine a des valeurs isotopiques du carbone très homogènes, dans la variabilité de celles observées pour la faune : -19,5 ‰ ($\pm 0,1$ à 1σ $n = 4$). En revanche, les valeurs isotopiques de l'azote sont supérieures à celles des herbivores et des omnivores, de + 2,8 ‰ en moyenne, mais proches de celles des chiens (Fig. 62).

EPOC. Dans la population humaine, les valeurs isotopiques du carbone sont plus élevées que celles observées pour la faune, mais similaires à celles des chiens : -18,7 ‰ ($\pm 0,3$ à 1σ $n = 6$), tout comme les valeurs isotopiques de l'azote, qui sont supérieures de + 2,4 ‰ en moyenne à celles des herbivores et des omnivores, mais proches de celles des chiens (Fig. 62).

Ces résultats indiquent que l'essentiel des protéines de l'alimentation de la population humaine, mais également celles des chiens, sont animales. La population humaine et les chiens ont probablement eu une alimentation dont les protéines ont des valeurs isotopiques similaires. Il n'est pas improbable dans ce cas que les sources alimentaires soient identiques et que les chiens aient consommé les repas ou les restes de repas du groupe humain. L'origine des ressources carnées n'est pas possible à mettre en évidence avec les résultats isotopiques obtenus puisque les espèces ont des valeurs qui ne se différencient pas. Si l'on prend en compte les résultats de l'étude archéozoologique sur le secteur d'habitat, les valeurs obtenues sont plus en faveur d'une consommation de ressources carnées issues du lait ou de la viande des animaux adultes. En effet, une consommation importante de jeunes porcins et/ou chevreaux (non sevrés) aurait marqué le collagène des individus humains par des valeurs plus élevées que celles enregistrées. Néanmoins, les valeurs isotopiques de ces derniers peuvent également refléter une consommation mixte de végétaux et de ressources carnées juvéniles.

d. Synthèse de l'étude de la grotte de Montou

L'ensemble anthropologique de la grotte de Montou a permis de réaliser des analyses isotopiques sur le collagène d'ossements humains et animaux. Même si quelques résultats obtenus sur des restes humains ont dû être écartés de la discussion, le reste des analyses nous a fourni des résultats satisfaisants pour être interprétés et plusieurs observations ont pu être réalisées :

- la population humaine de Montou possède des valeurs isotopiques clairement différenciées, des animaux herbivores et omnivores du site et similaires aux valeurs des chiens. Nous pouvons donc penser que l'alimentation des individus humains était probablement (1) composée d'une part non négligeable de protéines animales terrestres et (2) que les canidés du site consommaient probablement les mêmes ressources.
- Concernant les analyses **MPI-EVA** : au sein du groupe humain, un individu immature se distingue par une faible valeur isotopique de l'azote. L'hypothèse d'une alimentation moins riche en protéines animales semble la plus pertinente ; hypothèse qui peut être également valable dans une moindre mesure pour l'individu adulte B.
- Concernant les analyses **EPOC** : ici également un adulte se distingue. Une consommation moins importante de protéines animales par ce sujet que les autres adultes du groupe est possible.

L'absence de relations anatomiques entre les différentes parties du squelette, liée à la particularité de la sépulture : collective, n'a pas permis de connaître le sexe des individus échantillonnés. Cette information aurait été intéressante, notamment pour voir si la différence isotopique observée entre les adultes pour lesquels les plus faibles $\delta^{15}\text{N}$ sont enregistrés (pour

chacune des deux analyses) et les autres adultes de ce site, peut être liée à ce paramètre biologique. Notons également que la différence de $\delta^{15}\text{N}$ entre le jeune individu et les adultes (analyses MPI-EVA) est une observation que l'on retrouve pour les périodes antérieures sur plusieurs sites (la Baume Bourbon, les Arene Candide).

2 - les Plots (Berriac, Aude, France)

a. Contexte archéologique

a.1 Le site archéologique

Le site des Plots est un site d'habitat perché situé dans la commune de Berriac dans l'Aude (Fig. 63). Plusieurs interventions de sauvetage y ont été réalisées par J. Vaquer.



Fig. 63. Localisation du site archéologique des Plots, Berriac, Aude, France.

a.2 Études archéologiques et environnementales réalisées

Les campagnes de fouilles réalisées ont permis de mettre au jour 104 structures en creux de natures différentes : des silos arasés, des fosses oblongues, des cuvettes, des structures de combustion, des fosses cylindriques et des trous de poteaux (Duday et Vaquer, 2003). Quarante six structures ont livré du matériel de type Chasséen ancien ainsi que de la faune et 6 d'entre elles ont eu une fonction funéraire (*ibid.*). Les activités agricoles et d'élevage caractérisent le site (comm. pers. J. Vaquer). Du mobilier est présent, notamment dans les sépultures mais sans attribution certaine aux pratiques funéraires. Des études plus détaillées sur la faune et la céramique sont en cours par I. Carrère et G. Jédikian.

a.3 Études anthropologiques réalisées

Parmi les 6 structures funéraires, 5 sont attribuées au Chasséen et 4 ont pu être fouillées. Les inhumations sont en fosse silo, dont la morphologie est celle d'une base de silo tronconique (Duday et Vaquer, 2003). L'étude des pratiques funéraires, effectuée par H. Duday, a révélé des inhumations en espaces colmatés (enfouissement immédiat) et des inhumations en espace vide

(comblement des fosses sépulcrales plus lent). Des offrandes (céramiques et lithiques) ont également été brisées et brûlées, amenant les chercheurs à proposer un rite de destruction du mobilier des défunts (*ibid.*). Les sépultures mises au jour sont les suivantes :

- la sépulture St1 est celle d'un sujet adulte masculin, couché sur le côté gauche, dont le corps s'est décomposé partiellement en espace vide. Quelques objets (silex, fragments de vases) ont été retrouvés à la base de la fosse, ainsi qu'un fragment de radius d'aurochs déposé entre les genoux du défunt.
- Dans la sépulture 36 (Fig. 64), un individu adulte masculin reposait, les membres inférieurs sur le côté droit et le tronc en procubitus, à la base d'un silo comportant de nombreux objets (silex, hache polie) et fragments de matériel, dont la plupart se raccordent avec le comblement d'une fosse voisine.
- La sépulture 37 est celle d'une femme inhumée sur le côté droit, également en présence de fragments de céramiques.
- Enfin, la sépulture 49 (Fig. 64) comporte un individu masculin, inhumé sur le dos avec les jambes repliées derrière les cuisses ; seule une côte de bœuf, placée sur le thorax, est directement associée au sujet.

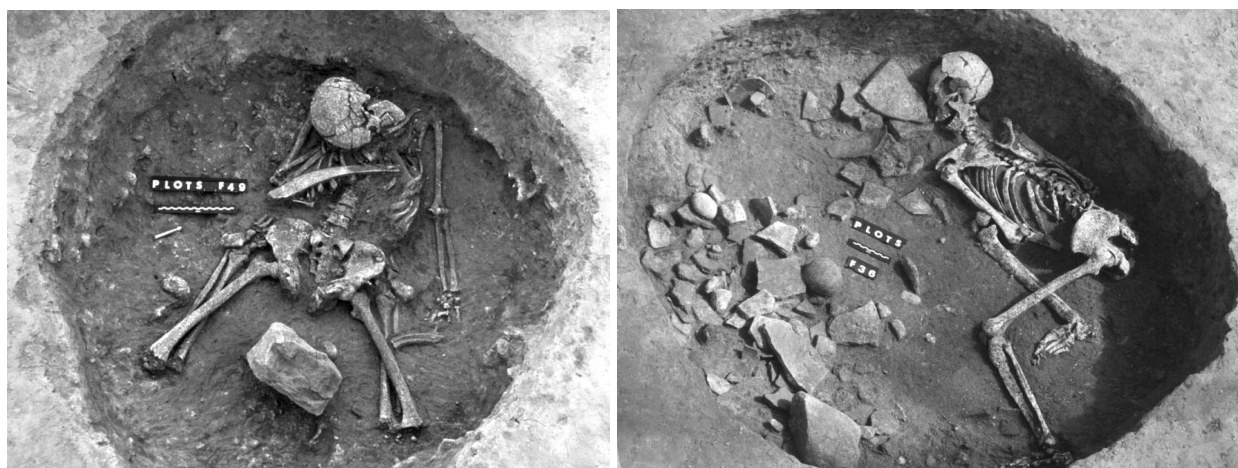


Fig. 64. Sépultures 49 et 36 des Plots (Photos J. Vaquer).

Observations de quelques critères biologiques

Effectuer quelques observations sur l'état sanitaire dentaire nous a paru intéressant afin d'enrichir les données que nous utiliserons dans l'interprétation des résultats isotopiques. Malheureusement, la très mauvaise conservation des ossements de ce site limite nos observations, mais d'une manière générale, nous pouvons remarquer que, l'usure dentaire est des plus marquées notamment pour l'individu F49 (Fig. 65 ;

Tab.). Notons également qu'une surface auriculaire de l'un des coxaux de cet individu était suffisamment bien conservée pour qu'une estimation de l'âge soit réalisée par la méthode

Schmitt (2005) (cf. Chap. II § B) ; le résultat indique un âge au décès estimé entre 20 et 49 ans (annexe 7). L'estimation de l'âge au décès par cette méthode a également pu être réalisée sur l'un des coxaux de l'individu F36, indiquant un âge jeune, entre 20 et 39 ans (annexe 7).

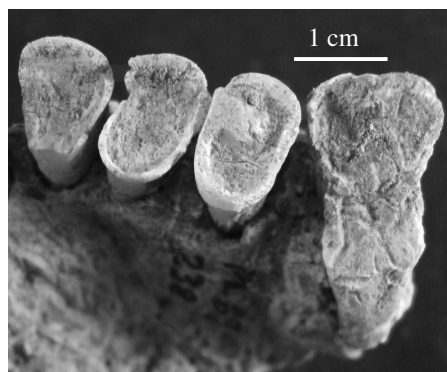


Fig. 65. Détail de l'usure dentaire du côté gauche du maxillaire de l'individu F49 (cliché Le Bras-Goude).

	Caries	Tartre	Attrition (Smith, 1984)	Résorption alvéolaire	Remarques
Mandibule F36	-	-	M ₁ et M ₂ (d et g) : stades 3-4	Modérée	Mauvaise conservation
Mandibule F37 (fragment)	-	-	P, C et I : stades 5-6	-	Très mauvaise conservation
Maxillaire F37	-	-	-	-	Très mauvaise conservation
Mandibule F49 (fragment)	-	-	M : stade 7 C et I : stades 5-6	Modérée	Mauvaise conservation
Maxillaire F49 (fragment)	-	-	C, I, P et surtout M ¹ (g) : stades 7-8	-	Mauvaise conservation
Maxillaire St1	-	Dépôt sur la surface linguale des M (d)	M ¹ et 2 : stade 6 C et I : stade 4	-	Mauvaise conservation

Tab. 40. Synthèse des observations sur l'état sanitaire dentaire des individus des Plots. g : gauche ; d : droite. M : molaire ; P : prémolaire ; C : canine ; I : incisive.

b. Datations

Plusieurs datations radiométriques ont été obtenues sur du charbon de fosses d'habitat du site, le situant dans la deuxième moitié du V^e millénaire avant notre ère (Chasséen ancien) : 5170 ± 50 BP (4210-3991 BC cal. ; Gif 9336) et 5230 ± 70 BP (4238-3841 BC cal. ; Gif 9337) (Duday et Vaquer, 2003).

c. Étude isotopique

c.1 Échantillonnage

L'échantillon se compose des 4 individus humains, et de 17 animaux herbivores, omnivores et carnivores, dont l'étude a été réalisée par I. Carrère (UMR 8555, Toulouse). Les os

humains et animaux ont subi une forte dégradation due à l'acidité du terrain, c'est pourquoi les restes de faune sont très fragmentaires et les épiphyses souvent inexistantes (comm. pers. I. Carrère). L'échantillon de faune est constitué d'animaux domestiques (bœufs, caprinés et chiens), d'animaux sauvages (cerf) et de suinés pour lesquels il n'a pas été possible de déterminer une espèce sauvage ou domestique. L'état de conservation macroscopique des ossements est médiocre et les prélèvements ont été effectués sur les os longs, au niveau de la partie corticale, où l'os, plus épais, est souvent moins altéré.

Sur le site des Plots, les échantillons ont été extraits et analysés dans plusieurs laboratoires.

c.2 État de conservation de la matière organique

MPI-EVA. Seuls 3 restes osseux humains et 10 restes osseux de faune ont pu être étudiés au laboratoire MPI-EVA. La conservation du collagène est mauvaise et les teneurs en C et N sont, en moyenne, en deçà des valeurs requises, malgré des rapports C/N corrects (annexe 21). Les proportions de carbone et d'azote du collagène des ossements des Plots s'étendent de 22,9 % à 46,1 % et de 7,0 % à 15,3 % respectivement (Tab. 41 ; Fig. 66). La très mauvaise conservation générale des ossements sur ce site nous oblige à exclure de la discussion un certain nombre d'échantillons de cette série : 2 restes humains, 2 restes de suinés, les restes de caprinés et celui d'un bœuf. Il ne reste ainsi plus beaucoup d'échantillons fiables pour cette étude et seuls deux restes humains (St1 et F36) peuvent faire l'objet d'une interprétation.

EPOC. La conservation du collagène est encore plus mauvaise que pour les analyses effectuées sur le collagène extrait par le laboratoire précédent. Dans ce cas également, les teneurs en C et N sont, en moyenne, en deçà des valeurs requises malgré des rapports C/N corrects (annexe 21). Les proportions de carbone et d'azote du collagène des ossements des Plots s'étendent respectivement de 9,7 % à 36,7 % et de 3,4 % à 12,9 % (Tab. 41 ; Fig. 66). La très mauvaise conservation générale des ossements sur ce site nous oblige à exclure de la discussion un certain nombre d'échantillons de cette série : 3 restes humains et 6 restes animaux. Le corpus d'étude est considérablement réduit et un seul un reste humain (F49) peut faire l'objet d'une interprétation.

	% C	% N	C/N	Rendement d'extraction (mg/g)
MPI-EVA				
Restes humains (n = 3)	31,7	10,2	3,6	8,3
Faune (n = 10)	36,0	11,8	3,6	7,9
Moyenne (n = 13)	33,9	11,0	3,6	8,1
Min	22,9	7,0	3,4	1,4
Max	46,1	15,3	3,8	27,0
EPOC				
Restes humains (n = 4)	29,2	10,2	3,3	47,1
Faune (n = 12)	26,4	9,3	3,3	31,7
Moyenne (n = 16)	27,8	9,8	3,3	39,4
Min	9,7	3,4	3,1	10,6
Max	36,7	12,9	3,5	71,7

Tab. 41. État de conservation du collagène des restes humains et animaux du site des Plots (analyses MPI-EVA et EPOC).

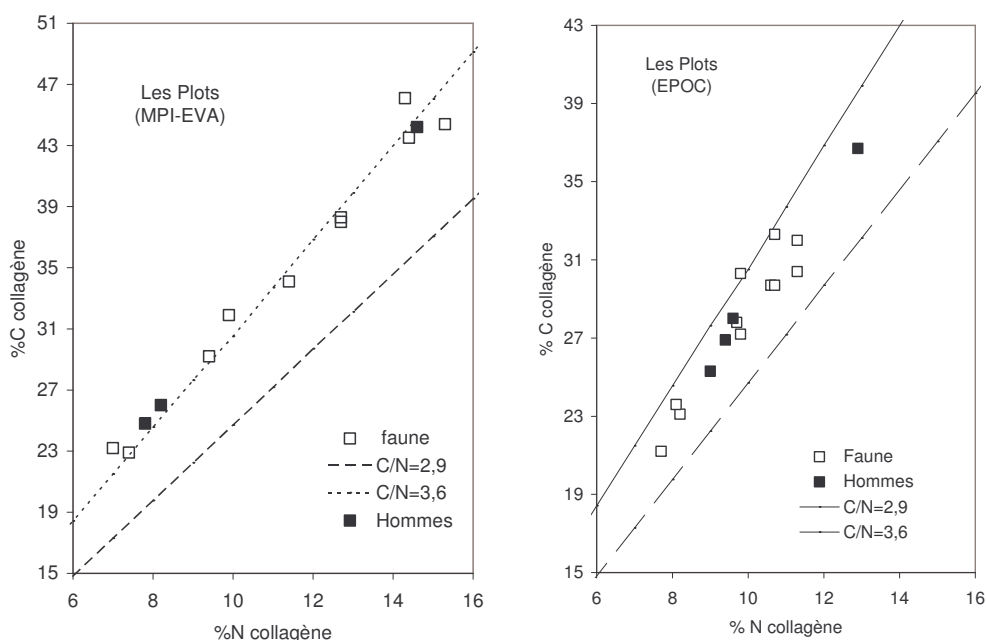


Fig. 66. Teneur en carbone et en azote du collagène des restes osseux animaux et humains des Plots (analyses MPI-EVA et EPOC).

c.3 Analyses isotopiques et interprétations

Les animaux

MPI-EVA. Les bœufs (seuls herbivores domestiques dont l'état de conservation est correct) ont un $\delta^{13}\text{C}$ moyen de $-20,5 \text{ ‰}$ ($\pm 0,4$ à 1σ ; $n = 2$) et un $\delta^{15}\text{N}$ moyen de $5,3 \text{ ‰}$ ($\pm 1,1$ à 1σ). Le collagène des suinés est en moyenne un peu plus enrichi en ^{15}N et ^{13}C que celui des herbivores ($\delta^{13}\text{C}$ moyen de $-20,1 \text{ ‰} \pm 0,6$ à 1σ ; $n = 2$, et $\delta^{15}\text{N}$ moyen de $5,9 \text{ ‰} \pm 1,2$ à 1σ) tout comme le chien ($\delta^{13}\text{C}$ de $-19,5 \text{ ‰}$ et $\delta^{15}\text{N}$ de $8,3 \text{ ‰}$). Les différences de composition isotopique entre les herbivores domestiques et les chiens (Tab. 42) témoignent de la consommation de ressources carnées par ces derniers (DeNiro et Epstein, 1981 ; Ambrose et Norr, 1993).

La population humaine

Seule l'étude réalisée au laboratoire MPI-EVA a permis d'obtenir plusieurs résultats isotopiques corrects pour les individus humains. Ces sujets, ST1 et F36, sont tous les deux de sexe masculin et se situent à des niveaux différents dans la chaîne trophique. L'individu F36 présente effectivement des valeurs isotopiques plus élevées (de $2,0 \text{ ‰}$ pour l'azote et de $0,3 \text{ ‰}$ pour le carbone) que ST1. Cette différence témoigne de choix alimentaires distincts, dont les ressources sont probablement plus riches en protéines animales pour l'individu F36. Ces différences alimentaires ne peuvent pas être comparées avec des facteurs archéologiques puisque bien qu'un fragment osseux d'aurochs soit un dépôt funéraire attesté pour l'individu ST1, aucun objet archéologique n'a été mis en relation directement avec le défunt F36. Concernant les données biologiques, on remarque que l'individu F36 est jeune, son âge est estimé entre 20 et 39 ans (annexe 7), mais compte tenu de l'imprécision de l'estimation de l'âge au décès de l'individu ST1 (20-49 ans ; annexe 7), il n'est pas possible de savoir si ce dernier est plus âgé ou non. Les différences alimentaires observées entre ces deux sujets ne peuvent actuellement être mises en relation avec aucun paramètre biologique et/ou archéologique.

EPOC. Les bœufs ont un $\delta^{13}\text{C}$ moyen de $-20,2 \text{ ‰}$ ($\pm 0,4$ à 1σ ; $n = 2$) et un $\delta^{15}\text{N}$ moyen de $6,2 \text{ ‰}$ ($\pm 0,0$). Le collagène du seul suiné dont l'état de conservation est correct indique des valeurs isotopiques similaires aux herbivores (Tab. 42). Le chien se distingue de l'ensemble de la faune par un $\delta^{13}\text{C}$ ($-18,9 \text{ ‰}$) et un $\delta^{15}\text{N}$ ($7,5 \text{ ‰}$) plus élevés que les autres animaux. La différence de valeurs isotopiques entre le chien et les autres animaux est probablement due au régime plus carnivore du premier.

	MPI-EVA					EPOC				
	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	% C	% N	C/N	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	% C	% N	C/N
St1 homme	-19,8	8,1	44,2	14,6	3,5					
F36 homme	-19,5	10,1	43,1	14,7	3,4					
F 49 homme						-19,6	8,8	36,7	12,9	3,3
Chien	-19,5	8,3	38,3	12,7	3,5	-18,9	7,5	30,3	9,8	3,6
Bœuf 1	-20,7	6,1	34,1	11,4	3,5					
Bœuf 2	-20,2	4,5	44,4	15,3	3,4	-19,9	6,2	29,7	10,6	3,2
Bœuf 5						-20,5	6,2	32,3	10,7	3,5
Capriné 3						-20,7	6,2	30,4	11,3	3,1
Suiné 3	-20,5	6,7	38,0	12,7	3,5					
Suiné 4	-19,7	5,0	43,5	14,4	3,5	-19,5	5,7	32,0	11,3	3,3
Cerf	-20,7	4,8	44,9	15,0	3,5	-20,4	5,4	29,7	10,7	3,2

Tab. 42. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, % C, % N et C/N du collagène des restes osseux animaux et de l'homme St1 des Plots (analyses MPI-EVA et EPOC).

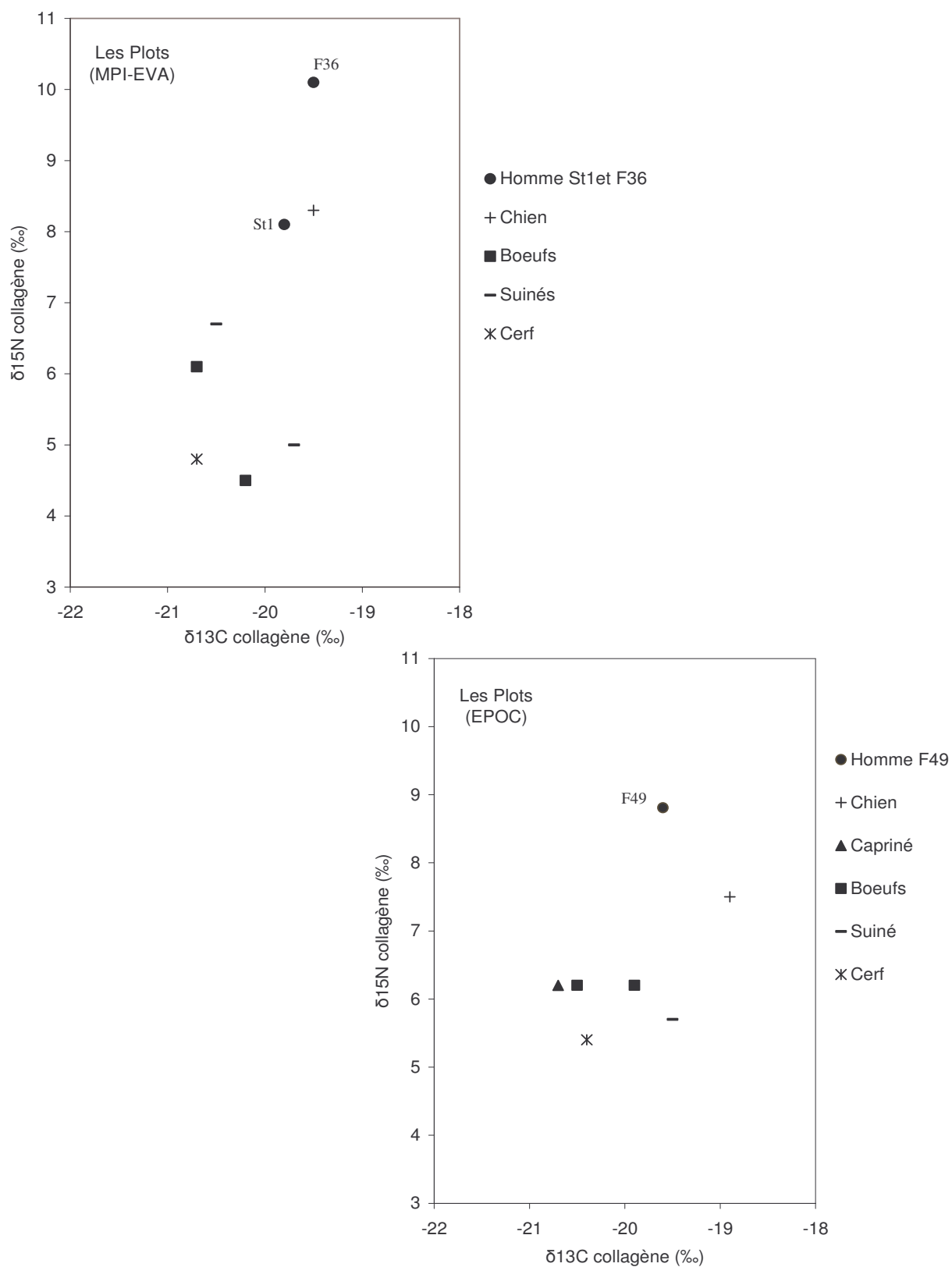


Fig. 67. δ¹³C et δ¹⁵N du collagène des restes osseux animaux des individus humains des Plots (analyses MPI-EVA et EPOC).

Relations Homme/animal

MPI-EVA. Les individus St1 et F36 se distinguent des animaux analysés sur ce site. Leur $\delta^{13}\text{C}$ est supérieur à celui de la faune herbivore domestique de 0,7 ‰ à 1,0 ‰ et leur $\delta^{15}\text{N}$ est supérieur de 2,8 ‰ à 4,8 ‰ (Fig. 67). Ce résultat indique que l'essentiel des protéines de l'alimentation de ces individus, et en particulier pour F36, sont animales. On remarquera ici également que les valeurs isotopiques du chien sont très proches de celles de l'individu St1, tout comme sur le site de Montou, mais qu'elles sont très différentes de celles de l'homme F36 ; ce dernier ayant un $\delta^{15}\text{N}$ bien plus élevé (de 1,8 ‰) que le canidé. Compte tenu du faible nombre d'animaux sauvages analysés (un cerf), il est difficile d'identifier la participation de la chasse aux ressources alimentaires. Cependant, si l'on considère qu'il existe une différence de milieu entre ces espèces, les $\delta^{13}\text{C}$ des sujets humains ne sont pas suffisamment faibles pour considérer que les animaux chassés contribuent à une part non négligeable de leur alimentation ; ce que confirme l'étude archéozoologique (comm. pers. J. Vaquer). La présence d'animaux chassés pourrait être mise en relation avec une pratique plus symbolique qu'alimentaire puisque un fragment de bovin sauvage compose l'unique dépôt strictement associé au défunt.

EPOC. L'individu F49 se différencie des quelques animaux qui ont pu être analysés sur ce site. Son $\delta^{13}\text{C}$ est supérieur à celui de la faune herbivore domestique de 0,6 ‰ et son $\delta^{15}\text{N}$ est supérieur de 2,8 ‰ (Fig. 67). Contrairement au site de Montou et aux résultats de l'analyse MPI-EVA, on remarque que sur les Plots, le chien se distingue de l'individu F49 par un $\delta^{15}\text{N}$ plus faible, alors que le $\delta^{13}\text{C}$ est plus élevé ; leur alimentation protéinique diffère probablement. Aucune hypothèse ne peut être proposée quant à la consommation de viande de gibier car les valeurs isotopiques du cerf sont proches de celles des herbivores domestiques. Enfin, notons que l'usure dentaire très prononcée observée chez cet individu (Fig. 65 ;

Tab.) ne peut pas être mis en relation avec les résultats isotopiques obtenus, pour évoquer une consommation importante de ressources végétales, potentiellement abrasives.

d. Synthèse de l'étude des Plots

Le corpus acquis au moment de l'échantillonnage a beaucoup diminué lors des différentes analyses (et étapes méthodologiques) en raison d'une très mauvaise qualité des restes osseux. Cette observation est valable pour chacune des méthodes d'extraction utilisée. Il manque donc actuellement des données isotopiques sur toutes les espèces de faune, ce qui nous empêche de connaître la variabilité isotopique de ces dernières. Les quelques résultats obtenus nous indiquent que, d'après les analyses réalisées au laboratoire MPI-EVA, mais également d'après celles réalisées au laboratoire EPOC, les protéines de l'alimentation des individus masculins (St1, F36 et F49) étaient essentiellement fournies par les ressources carnées. Par ailleurs, les résultats obtenus au laboratoire MPI-EVA ont permis de mettre en évidence des différences alimentaires entre les individus masculins des Plots. Le problème majeur actuellement reste le manque de données et la très mauvaise conservation des ossements en général et de la matière organique en particulier, sur ce site.

3 - Le Crès (Béziers, Hérault, France)

a. Contexte archéologique

a.1 Le site archéologique

Le site archéologique du Crès se situe à 4 km au nord de Béziers (Fig. 68) et fut découvert en 1996 lors d'une opération archéologique d'évaluation avant travaux. Les niveaux néolithiques ont fait l'objet d'une première étude par G. Loison et B. Houix en 2000. Des structures en fosses et des sépultures ont été mises en évidence. Ce site est important puisqu'il comporte au sein d'une aire d'habitat, des structures funéraires caractérisant le Chasséen ancien, et les sites de cette envergure (4000 m²) sont peu courants dans le Midi de la France.



Fig. 68. Localisation du site archéologique du Crès, Béziers, Hérault, France.

Compte tenu du caractère des découvertes, les recherches archéologiques se sont poursuivies en 2000 et 2001 sous la direction de G. Loison (INRAP Montpellier). Les fouilles ont mis au jour de nombreuses structures, 189 au total, domestiques et funéraires, dans lesquelles une grande diversité dans les modes d'inhumation est mise en évidence (fosses sépulcrales et fosses domestiques remployées). Ce travail a fait l'objet d'un rapport final de synthèse très complet (Loison *et al.*, 2004) sur les différents aspects du site (sépultures, faune) duquel toutes les informations archéologiques, présentées dans ce travail, sont issues.

a.2 Études archéologiques et environnementales réalisées

Beaucoup de matériel a été mis au jour dans une partie des structures fouillées. De l'outillage lithique et en os, mais également des pièces céramiques ont été retrouvés, notamment dans des structures funéraires dont quelques unes sont riches en matériel (*e.g.* sépulture 3 ; étude

de V. Léa, A. Gaillard et G. Jédikian, UMR 8555, Toulouse) (Loison *et al.*, 2004). L'étude archéozoologique, réalisée par V. Forest (INRAP Montpellier), indique que l'alimentation carnée était très majoritairement dirigée vers les bovins (Tab.). Les taxons bien représentés sont ensuite les caprinés et les chiens (dont certains sont inhumés), contrairement aux cochons et à la faune sauvage, dont les restes sont très partiels. Parmi la faune sauvage, on notera la présence de quelques oiseaux et de la tortue cistude. Les principaux mollusques présents sont des moules, huîtres et coques. Ces mollusques n'ont pas seulement une finalité alimentaire mais pour certains, des traces humaines laissent penser qu'ils ont été utilisés comme outils et d'autres comme éléments de parure (Fig. 69; Loison *et al.*, 2004).

Faune terrestre et aquatique	NR	Remarques
Caprinés	32	
Porcins	1	
Bovins	95	
Chevreuil	2	Bois entiers de chute
Chien	10	+ 1 squelette entier et des bas de pattes
Hermine	1	
Lièvre	1	
Lapin	61	Possible intrusions postérieures
Oiseaux	2	Oie cendrée et canard colvert ?
Tortue	1	plastron
Malacofaune marine	NR	
Moules	272	
Coque « cardium »	25	
Pétoncle glabre	3	
Palourde croisée d'Europe	2	
Bucarde tuberculée	2	
Mulette des peintres	4	
Gastéropodes	1	
Total	309	

Tab. 43. Espèces et nombre de faune terrestre et de la malacofaune du site du Crès. Etude de V. Forest (Loison *et al.*, 2004).

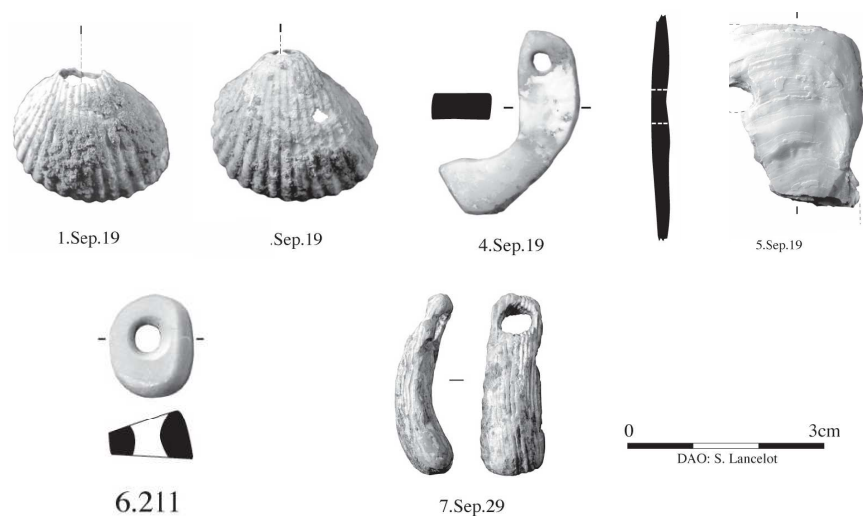


Fig. 69. Pendants retrouvés en milieu funéraire (iconographie issue de Loison *et al.*, 2004)

Fosse AMT 98, moitié ouest	Type de reste	NR
Cerealìa	Fragment	154
Orge- <i>Hordeum vulgare var. nudum</i>	Semence	12
	Fragment	8
Blé- <i>Triticum aestivum/turgidum</i>	Semence	209
	Fragment	52
Amidonnier- <i>Triticum dicocum</i>	Furca	2
Amidonnier/engrain- <i>Triticum dicocum/monococum</i>	Base glume	1
	Entreoeud	1
Herbe rudérale- <i>Chenopodium album</i>	Semence	3
Poaceae	semence	1
Total		643

Tab. 44. Type et nombre de restes végétaux de la fosse AMT 98 du site du Crès. Etude de L. Bouby (Loison et al., 2004).

L'étude carpologique, réalisée par L. Bouby (UMR 6130), atteste une présence importante du blé tendre/dur (90 % de *Triticum aestivum/turgidum*), tandis que l'orge nu et le blé amidonnier sont en très faible quantité (Tab. ; Loison et al., 2004). Les données archéologiques et environnementales ne sont pas complètes actuellement en raison de la limitation de l'étude à quelques structures seulement et d'un travail complémentaire en cours, notamment dans le cadre du projet de l'ACR (cf. § A).

a.3 Études anthropologiques réalisées

Les fouilles sur le site ont mis au jour 51 individus, qui ont fait l'objet d'une étude anthropologique de terrain. La détermination de l'âge, du sexe, de la stature et l'observation de caractères ostéologiques particuliers ont également été réalisées (études de V. Fabre, G. Loison, M. Texier et I. Villemeur dans Loison et al., 2004 ; détails en annexe 22) ; des études plus spécialisées (pathologies) viendront compléter ces données ultérieurement. Les individus, dont 45 % sont des immatures, ont été, d'après l'étude, répartis dans plusieurs classes d'âge allant du fœtus au sujet âgé⁵⁷. L'estimation du sexe des adultes a pu être effectuée sur 19 individus et l'étude de leur répartition selon la structure des fosses funéraires n'a révélé aucune tendance générale. De nombreuses observations de terrain ont pu montrer des particularités dans les pratiques funéraires et le traitement des défunts : emballage, habillement, position et orientation des corps, dépôts primaires⁵⁸, multiples⁵⁹ ou simples, ainsi que les dispositifs sépulcraux⁶⁰ (Fig. 70).

⁵⁷ L'estimation de l'âge des immatures a été réalisée par les anthropologues avec les méthodes de Stloukal et Hanakova, 1978, Ubelaker, 1978 et Birkner, 1980, et l'estimation de l'âge des adultes avec la méthode de Owing-Webb et Suchey, 1980 à partir de la fusion de la crête illiaque (au alentour de 25 ans) permettant de distinguer les adultes jeunes et les adultes plus âgés.

⁵⁸ Décomposition du corps dans le lieu de dépôt définitif du défunt, ici la sépulture (Duday, 1995 ; 2005 ; 2006).

⁵⁹ Dépôts de plusieurs défunts simultanément ou dans des laps de temps peu éloignés (*ibid.*).

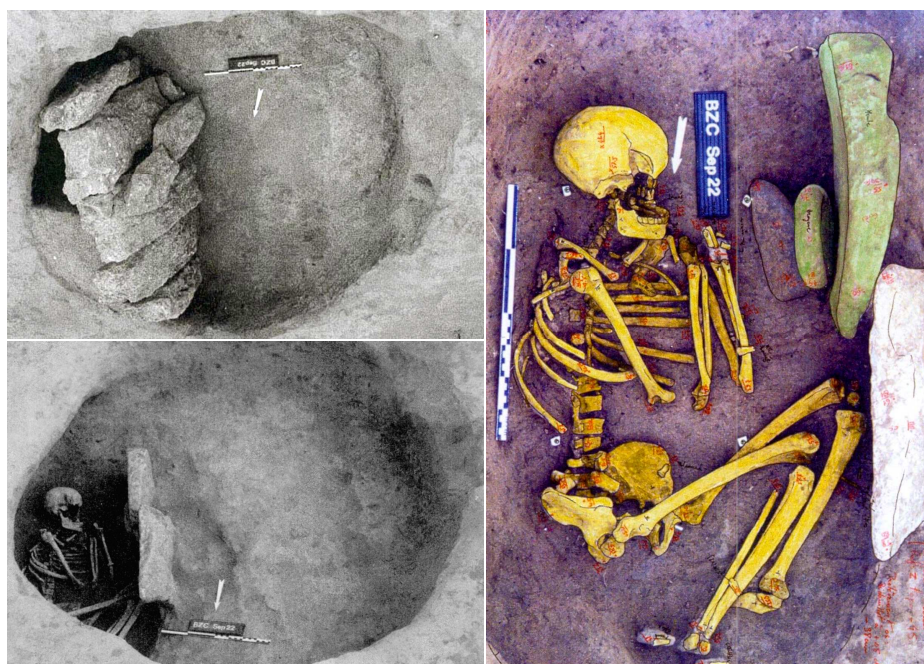


Fig. 70. Différentes phases de dégagement de la sépulture 22, la tombe la plus monumentale du site (Loison *et al.*, 2004).

b. Datations

Des datations relatives, réalisées (et en cours) à l'aide du matériel céramique et lithique, permettent actuellement de dire que la phase ancienne du Chasséen méridional est bien représentée sur le site (Loison *et al.*, 2004). Des datations radiométriques sur des ossements humains ont été engagées, dont certaines en 2005 dans le cadre de l'ACR, afin de dater entre autres plusieurs secteurs d'inhumations. Nous attendons actuellement les résultats de ces datations qui sont importants pour comparer les résultats isotopiques en fonction des secteurs d'inhumation et en fonction de la chronologie.

c. Étude isotopique

c.1 Échantillonnage

Les fouilles du site ont mis au jour 51 individus, dont 43 ont pu être échantillonnés pour les analyses isotopiques. L'échantillonnage n'a pas pris en compte les individus représentés par très peu de fragments (individus 3b, 4, 12c, 18, 20f et 20g et l'individu 11c absent lors de l'échantillonnage). Les enfants ayant moins de 4 ans (environ) ne sont pas étudiés non plus, en

⁶⁰ FS : fosse sépulcrale simple ; PDPP(B) : fosse à petit diamètre peu profonde (avec bloc de parement) ; FSO(B) : fosse à ouverture oblongue (avec bloc de parement) ; GDP(P)(N)(B) : fosse à grand diamètre (peu) profonde (avec niche ou bloc de parement) ; SR : fosse de stockage.

raison des traces éventuelles du régime lacté (pré-sevrage). Compte tenu de la mauvaise conservation macroscopique générale des ossements, les parties anatomiques qui semblaient les mieux préservées ont été choisies. La sélection des échantillons de faune a, quant à elle, été réalisée en accord avec V. Forest et G. Loison ; le choix s'est porté sur 16 individus d'espèces et de régimes alimentaires différents : bovins, caprinés, chiens et chevreuils (annexe 21).

Pour cette série, plusieurs analyses ont été effectuées dans différents laboratoires et sur des collagènes extraits par différentes méthodes. Les résultats des analyses obtenus sur les différents collagènes sont par conséquent respectivement présentés ci-dessous.

c.2 État de conservation de la matière organique

MPI-EVA. Actuellement, 57 échantillons ont fourni des résultats. D'une manière générale, les proportions de carbone et d'azote et le rapport C/N sont très corrects. Les proportions de carbone et d'azote s'étendent respectivement de 22,9 % à 45,4 % et de 8,1 % à 15,4 % (Tab. 45 ; Fig. 71). Seuls 2 échantillons, mal conservés (8d et 31) ne sont pas pris en compte dans la discussion.

EPOC. Le collagène de 42 restes osseux humains ainsi que celui de 16 restes osseux de faune ont fourni des résultats isotopiques. Les proportions de carbone et d'azote et le rapport C/N sont très corrects. Les proportions de carbone et d'azote s'étendent respectivement de 5,0 % à 42,0 % et de 1,4 % à 15,5 % (Tab. 45 ; Fig. 71). Ces proportions sont plus faibles que celles obtenues avec l'autre méthode d'extraction. Les échantillons ne respectant pas les critères de validité sont exclus de l'analyse des données ; ceci concerne 10 restes osseux humains et 5 restes osseux animaux.

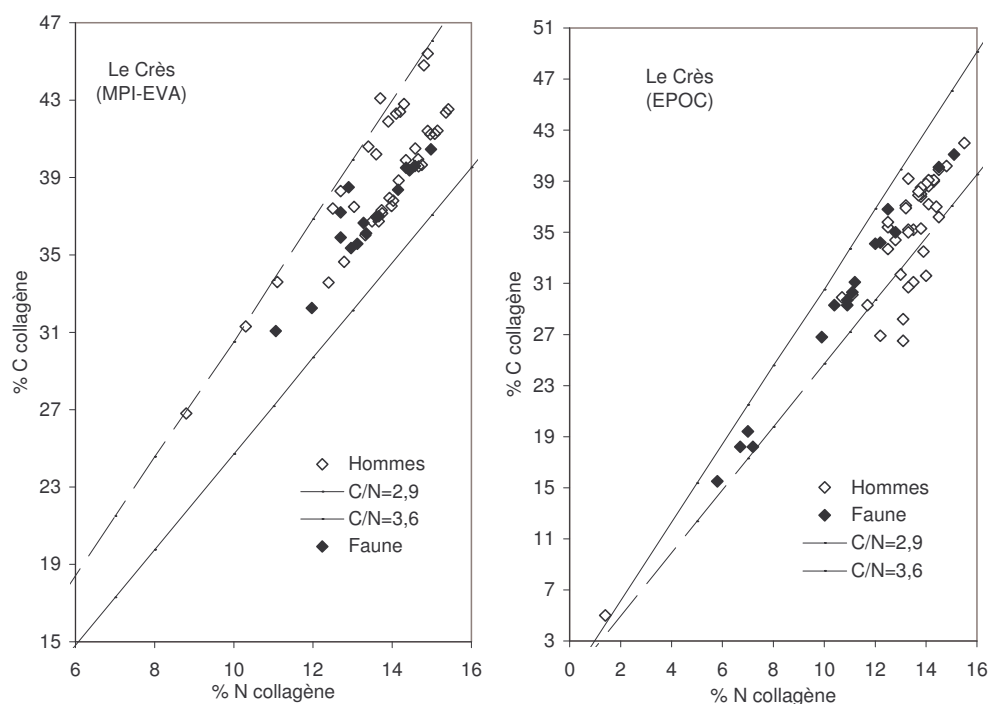


Fig. 71. Teneur en carbone et en azote du collagène des restes osseux animaux et humains du Crès (analyses MPI-EVA et EPOC).

	% C	% N	C/N	Rendement d'extraction (mg/g)
MPI-EVA				
Restes humains (n = 41)	38,4	13,5	3,3	14,6
Faune (n = 16)	36,9	13,4	3,2	11,1
Moyenne (n = 57)	37,7	13,5	3,3	12,9
Min	22,9	8,1	3,0	1,3
Max	45,4	15,4	3,5	60,4
EPOC				
Restes humains (n = 42)	34,7	13,2	3,0	53,3
Faune (n = 16)	29,3	10,6	3,2	36,2
Moyenne (n = 58)	32,0	11,9	3,1	44,8
Min	5,0	1,4	2,6	9,0
Max	42,0	15,5	4,1	161,3

Tab. 45. État de conservation du collagène des restes humains et animaux du site du Crès (analyses MPI-EVA et EPOC).

c.3 Analyses isotopiques et interprétations

Les animaux

MPI-EVA. Les valeurs isotopiques obtenues sur le collagène de la faune varient de -20,9 ‰ à -19,0 ‰ pour le $\delta^{13}\text{C}$ et de 5,7 ‰ à 8,7 ‰ pour le $\delta^{15}\text{N}$. Chez les herbivores domestiques et sauvage, les valeurs isotopiques sont homogènes autant pour le carbone ($\delta^{13}\text{C}$ de $-20,0 \text{ ‰} \pm 0,7$ à 1σ ; $n = 5$, pour les bœufs et de $-19,9 \text{ ‰} \pm 0,3$ à 1σ ; $n = 5$, pour les caprinés) que pour l'azote ($\delta^{15}\text{N}$ de $6,3 \text{ ‰} \pm 0,6$ à 1σ pour les bœufs et de $6,2 \text{ ‰} \pm 0,6$ à 1σ pour les caprinés). Ces résultats supposent que les herbivores domestiques consommaient des ressources protéiniques dont les valeurs isotopiques étaient proches, voire identiques. Les $\delta^{13}\text{C}$ des herbivores et des chiens ($-19,6 \text{ ‰} \pm 0,2$ à 1σ ; $n = 5$) sont proches, mais il n'en est pas de même pour le $\delta^{15}\text{N}$ (Tab.). La variation de 1,7 ‰ en moyenne observée entre les $\delta^{15}\text{N}$ des herbivores et des chiens du site indique que ces derniers ont consommé des protéines animales.

EPOC. Les valeurs isotopiques obtenues sur le collagène de la faune varient de -20,6 ‰ à -18,4 ‰ pour le $\delta^{13}\text{C}$ et de 6,1 ‰ à 8,1 ‰ pour le $\delta^{15}\text{N}$. Le $\delta^{13}\text{C}$ moyen des bœufs ($-19,5 \text{ ‰} \pm 0,8$ à 1σ ; $n = 4$) est similaire à celui des caprinés ($-19,9 \text{ ‰} \pm 0,2$ à 1σ ; $n = 3$), tout comme le $\delta^{15}\text{N}$ (de $6,6 \text{ ‰} \pm 0,6$ à 1σ pour les bœufs et de $6,3 \text{ ‰} \pm 0,4$ à 1σ pour les caprinés). Les valeurs obtenues sur le chevreuil sont dans la variabilité de celles des autres herbivores. Les $\delta^{13}\text{C}$ des herbivores et des chiens ($-19,5 \text{ ‰} \pm 0,1$ à 1σ ; $n = 3$) sont proches, mais en ce qui concerne l'azote, ces derniers ont un $\delta^{15}\text{N}$ plus élevé en moyenne (Tab.). La variation de 1,4 ‰ en moyenne observée entre les $\delta^{15}\text{N}$ des herbivores et des chiens du site reflète le fait que ces derniers consommaient des ressources animales.

La population humaine

MPI-EVA. Il existe une grande variabilité des valeurs isotopiques au sein des adultes et des immatures : les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ vont de -20,8 ‰ à -19,2 ‰ et celles de $\delta^{15}\text{N}$ de 4,7 ‰ à 12,1 ‰. L'amplitude des valeurs isotopiques du carbone chez les adultes (1,6 ‰) et chez les immatures (1,3 ‰) est dans la variabilité de celle observée chez les animaux herbivores du site (1,9 ‰). En revanche l'amplitude des valeurs isotopiques de l'azote dans la population du Crès est très importante (7,4 ‰ ; 3,4 ‰ sans les sujets présentant valeurs extrêmes) sur l'ensemble de la population, au-delà de celles que l'on connaît actuellement pour des groupes humains ayant un même régime alimentaire (Froment et Ambrose, 1995 ; O'Connell et Hedges, 1999). La variation du $\delta^{15}\text{N}$ chez les adultes est de 4,3 ‰ et de 3,4 ‰ chez les immatures. Il semblerait donc que la consommation de protéines animales soient très variée au sein des deux groupes mais encore plus chez les adultes.

EPOC. Les valeurs isotopiques de la population humaine s'étendent de -20,6 ‰ à -18,6 ‰ pour le $\delta^{13}\text{C}$ et de 6,6 ‰ à 11,1 ‰ pour le $\delta^{15}\text{N}$. L'amplitude du $\delta^{13}\text{C}$ chez les immatures (1,0 ‰), et les adultes (1,7 ‰) est comprise dans celle observée chez les animaux herbivores du site (2,0 ‰). Ce résultat indique que les ressources consommées par la plupart des individus sont probablement acquises dans un même environnement. Concernant le $\delta^{15}\text{N}$, l'amplitude observée chez les immatures est de 2,5 ‰ et celle observée chez les adultes est de 4,3 ‰. L'ensemble de ces résultats montre que les choix alimentaires étaient probablement variés au sein du groupe des immatures et encore plus chez les adultes.

Parmi la population étudiée, quelques individus se distinguent de par leur position marginale dans le réseau trophique comparé à l'ensemble des sujets (Fig. 72). Ces observations sont valables dans les deux études réalisées (MPI-EVA et EPOC).

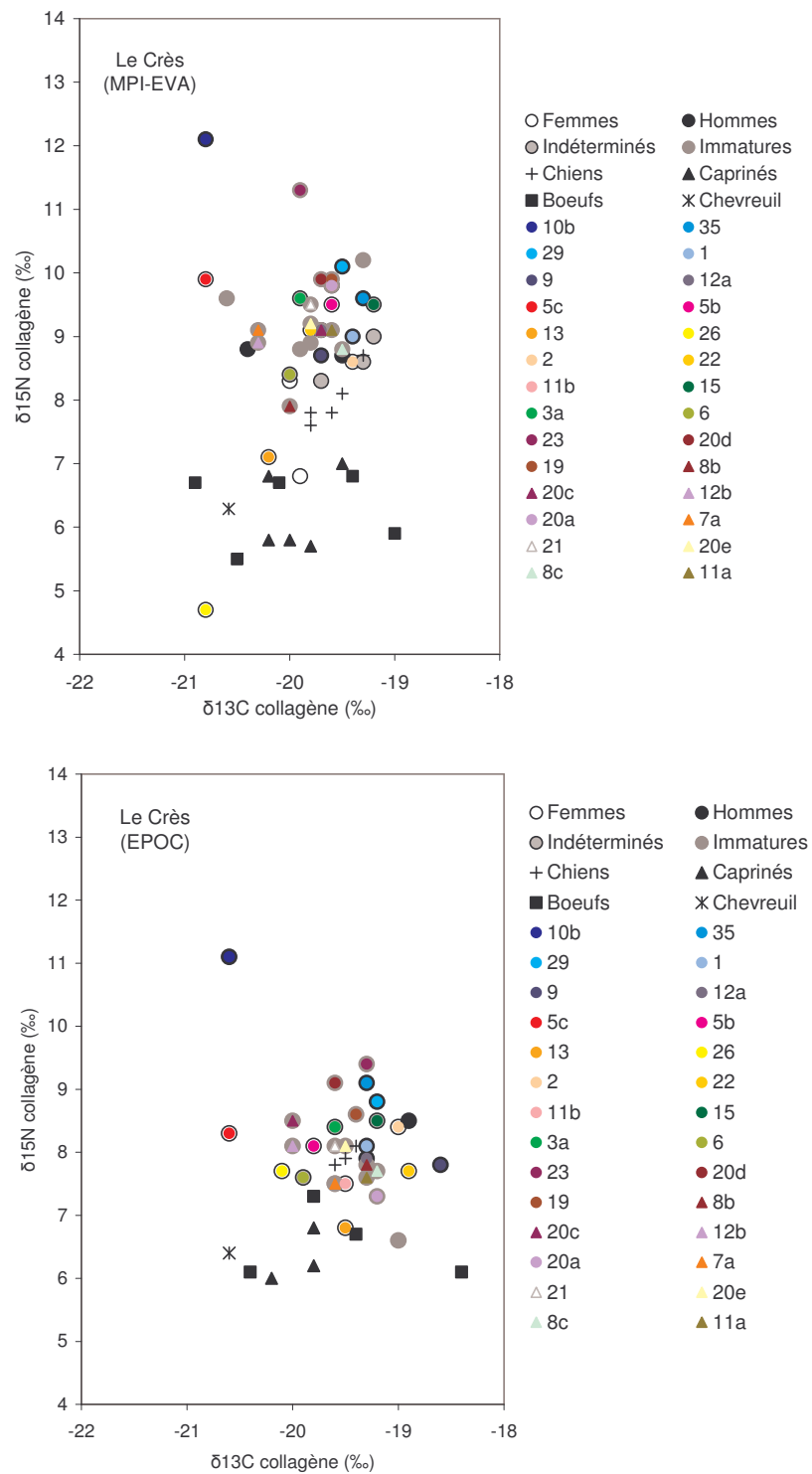


Fig. 72. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du collagène des restes osseux animaux et humains du Crès (analyses MPI-EVA et EPOC).

MPI-EVA. Les femmes 13, 8a et plus particulièrement 26 sont caractérisées par de faibles valeurs isotopiques de l'azote mais également du carbone en ce qui concerne l'individu 26. Le sujet 26 était inhumé dans une fosse circulaire de type silo dans le nord-est du décapage. L'individu 13 est également inhumé dans une fosse circulaire, mais avec un chien. Enfin, le sujet 8a est inhumé dans une fosse de type oblongue avec trois autres individus, immatures, dont deux dans une couche inférieure. L'individu 13 présente un *coxa valga*⁶¹, de nombreuses pertes dentaires mandibulaires *ante mortem* (prémolaires et molaires) et les dents restantes sont très usées. Le crâne d'un enfant d'environ 5 ans est disposé avec le défunt (dépôt secondaire probable). Cet enfant, l'individu 8b, possède également un $\delta^{15}\text{N}$ parmi les plus faibles de cette population (7,9 ‰). Les sujets féminins nommés *supra* ont probablement eu une alimentation dans laquelle les protéines animales étaient moins importantes que le reste de la population. Cette hypothèse peut être appuyée par l'état sanitaire dentaire de l'individu 8a qui suggère la consommation de bouillies de céréales par exemple (ici probablement avec peu de protéines animales) plus facile à consommer que la viande.

EPOC. Deux individus, une femme (13) et un enfant (8d) possèdent des $\delta^{15}\text{N}$ faibles (de 6,8 ‰ et 6,6 ‰), dans la variabilité des valeurs observées pour la faune herbivore de ce même site (6,0 ‰ à 7,3 ‰). Concernant le sujet 13, les hypothèses qui peuvent être proposées rejoignent celles effectuées à partir de l'analyse de l'autre laboratoire, c'est-à-dire une consommation probable de ressources pauvres en protéines animales, la consommation éventuelle de légumineuses et/ou l'influence de facteurs physiologiques. Pour le sujet 8d, un enfant d'environ 9 ans (Loison *et al.*, 2004), on peut remarquer que les autres individus de la même fosse ont aussi des $\delta^{15}\text{N}$ parmi les plus faibles de la population, ce que confirment également les résultats obtenus et les analyses réalisées avec la précédente étude (analyses MPI-EVA). De cet individu, très peu de restes osseux ont pu être mis au jour et malheureusement aucun indice anthropologique ne peut être confronté à ce résultat. Les seules hypothèses que nous pouvons proposer sont du même ordre que celles suggérées pour le sujet 13 et dans une moindre mesure, que celles que nous pourrions également faire concernant les individus dont les $\delta^{15}\text{N}$ sont très proches de ceux des animaux herbivores (e.g. l'individu immature 20a).

⁶¹ Angle cervico-diaphysaire du fémur important (au-delà de 135°). Cette anomalie peut entraîner des problèmes articulaires et de l'arthrose (Mafart, 1979).

Le résultat du laboratoire MPI-EVA concernant l'individu 26 ($\delta^{15}\text{N}$ de 4,7 ‰) indique que la position de ce sujet dans la chaîne alimentaire est en deçà des faunes herbivores étudiées. Concernant le résultat de l'étude EPOC sur ce même individu, on remarque que son $\delta^{15}\text{N}$ (7,7 ‰) est également bas. Toutefois la différence enregistrée entre ces deux études est de 3 ‰. Une erreur d'échantillonnage (*i.e.* os de faune) n'est pas possible dans ce cas, sachant que la fibula a été choisie pour le prélèvement et que cette dernière est bien humaine (retrouvée en position anatomique lors de la fouille). Pour cet individu, deux hypothèses sont susceptibles d'apporter des éléments de réponse vis-à-vis du résultat obtenu par l'étude MPI-EVA : (1) une consommation très importante de protéines appauvries en azote-15, telles que celles des légumineuses ou de ressources issues d'un milieu où les sols sont acides, ou (2) des paramètres physiologiques influençant très fortement l'assimilation des protéines et/ou leur fractionnement isotopique.

La première hypothèse est intéressante puisque l'on connaît des valeurs isotopiques similaires chez des individus néolithiques d'Anatolie pour lesquels la consommation, probablement non négligeable, de ces végétaux a été mise en évidence (Lösch *et al.*, 2006) ; dans cette étude les individus ont des $\delta^{15}\text{N}$ parfois similaires ou proches de ceux des herbivores du site. Cependant l'absence de ces derniers dans les restes carpologiques du site (Loison *et al.*, 2004) remet fortement en question cette possibilité.

Concernant la deuxième hypothèse, il est également difficile d'apporter des éléments d'informations pertinents car peu d'études ont pu mettre en relation la physiologie (physiologie spécifique) et les valeurs isotopiques du carbone et de l'azote. Néanmoins, un récent travail effectué par Fuller et collaborateurs (2004) a montré qu'un état physiologique particulier : la grossesse, peut influencer le fractionnement isotopique. Dans cette étude, une baisse des valeurs isotopiques de l'azote⁶², jusqu'à -1,0 ‰ environ, est enregistrée sur la kératine de cheveux de femmes à la fin de leur grossesse. Les mécanismes physiologiques de cette variation intra individuelle sont mal connus et les auteurs proposent l'hypothèse d'un déséquilibre de l'excrétion de l'urée au cours de cette période. Cette hypothèse n'est pas spécifique au phénomène de gestation et avait déjà été évoquée pour l'étude d'autres animaux, chez lesquels la diminution de l'excrétion de l'urée était corrélée à la baisse du $\delta^{15}\text{N}$ dans les tissus, probablement en relation avec une rétention plus importante d'azote-14 (Sponheimer *et al.*, 2003b). Il est par ailleurs vrai que l'influence possible des hormones sur l'assimilation des protéines et les valeurs isotopiques, n'a pour le moment fait l'objet d'aucune étude spécifique et cette voie de recherche pourrait peut-être nous apporter des éléments de réponse. Compte tenu du peu d'informations et d'hypothèses solides dont nous disposons il est difficile de comprendre les valeurs isotopiques de l'individu

⁶² Étude réalisée sur la kératine des cheveux d'un échantillon de 10 femmes aux Etats-Unis, tout au long de leur grossesse.

féminin 26 du Crès. Néanmoins, il n'est pas impossible que cette femme ait eu un état physiologique particulier et/ou une alimentation très pauvre en protéines animales par exemple.

Notons également que ce type de résultat ne semble pas marginal au Néolithique et même au Chasséen. En effet, comme nous l'avons vu auparavant (*cf.* § Chap. III), certains individus du Cardial ont également de très faibles $\delta^{15}\text{N}$. Ce phénomène se retrouve également sur d'autres sites en Europe (Lillie et Richards, 2000 ; Ogrinc et Budja, 2005 ; Papathanasiou, 2003 ; Lösch *et al.*, 2006). De plus, l'hypothèse d'une différenciation alimentaire intracommunautaire a déjà été mise en évidence dans le nord de la France, sur un site chasséen (site de la Vilette à Louviers), dans lequel les individus présentant de très faibles $\delta^{15}\text{N}$ et $\delta^{13}\text{C}$ ont probablement acquis leurs ressources dans un milieu différent du reste de la population (Bocherens *et al.*, 2005).

A l'inverse des résultats précédents, deux individus (10b et 23), se distinguent par des valeurs isotopiques de l'azote bien plus élevées que le reste de la population du Crès. Ce résultat est valable pour les deux études (MPI-EVA et EPOC) en ce qui concerne l'individu 10b. Pour l'individu 23, le $\delta^{15}\text{N}$ particulièrement élevé (11,1 ‰) n'est enregistré que pour l'étude MPI-EVA. Toutefois, en ce qui concerne l'étude EPOC, l'individu 23 possède un $\delta^{15}\text{N}$ plus faible (9,4 ‰) que celui de l'analyse MPI-EVA mais l'un des plus élevés enregistrés au sein de la population humaine du site.

Le sujet 10b, probablement de sexe masculin dont l'âge est estimé entre 20 et 49 ans (annexe 7), est inhumé dans une fosse circulaire peu profonde, et située dans un secteur quelque peu éloigné par rapport aux autres fosses de ce type. L'étude anthropologique décrit des atteintes arthrosiques sur les corps des vertèbres cervicales et sur l'extrémité distale du premier métacarpien droit ainsi qu'un *coxa valga*. Concernant cette dernière information, les sujets qui en sont atteints (génétiquement ou non) présentent à plus ou moins long terme de l'arthrose ; ce détail n'a pas été relevé pour l'individu 10b. Le $\delta^{15}\text{N}$ de cet individu est de 12,1 ‰ pour l'analyse MPI-EVA et 11,1 ‰ pour l'analyse EPOC, soit supérieur de 2,9 à 3,2 ‰ par rapport à la moyenne de la population adulte, ce qui le place à un niveau trophique supérieur. En revanche, le $\delta^{13}\text{C}$ de cet individu est faible : -20,8 ‰ pour l'analyse MPI-EVA et -20,6 ‰ pour l'analyse EPOC, le plus faible de la population du Crès. Il est par conséquent très probable que cet individu ait eu une alimentation dont les protéines sont riches en azote-15, mais faibles en carbone-13. Parmi les ressources possibles nous pouvons citer : les produits d'origine aquatique, dont le $\delta^{15}\text{N}$ est plus élevé que les ressources terrestres, mais le $\delta^{13}\text{C}$ similaire, voire plus faible que ces dernières (Tab.) (Cook *et al.*, 2001). En considérant la position géographique de ce site, proche de la rivière (l'Orb), la consommation importante de ressources dulcicoles n'est pas aberrante, sachant également qu'un reste de tortue cistude (*Emis orbicularis*) a été retrouvé sur le site. Cependant, le caractère apparemment exceptionnel de cette pratique dans la population paraît curieux. Il est

également possible que l'écologie du milieu, dans lequel le site a fonctionné, ait quelque peu évolué au cours du temps, influençant par conséquent les valeurs isotopiques du carbone à la base de la chaîne alimentaire. En effet, même si le climat dominant de cette région à cette époque est de type océanique (Jalut *et al.*, 2000 ; Jalut, 2005), des phases plus sèches ont été mises en évidence par les données environnementales (Magny *et al.*, 2002). Ne connaissant pas les datations précises des individus humains sur le site du Crès, il n'est pas possible actuellement d'étayer cette hypothèse. Par ailleurs, les archéologues cherchent à connaître l'évolution du rivage marin au cours de différentes périodes du Chasséen puisque des rias (bras de mer) ont été présents aux alentours du site à différentes époques (comm. pers. G. Loison). Ce type de milieu permettait de toute évidence l'accès à des ressources marines, et probablement à des espèces anadromes⁶³. Cependant sur le site du Crès, la consommation de ressources marines ne semble pas importante du point de vue de l'étude malacologique, ce que confirment les analyses isotopiques effectuées sur l'ensemble de la population. Si des rias étaient accessibles à cette époque, on peut supposer que leur exploitation aurait été plus importante, mais cette hypothèse est contestable, surtout compte tenu des résultats que nous avons obtenus précédemment sur les sites côtiers pour les périodes antérieures (*cf.* chapitre III). Ajoutons encore que l'hypothèse d'une origine géographique différente pour cet individu doit également être prise en compte. Dans ce cas, la comparaison de ses valeurs isotopiques avec la faune du site et les autres individus est biaisée. Cette hypothèse peut être étayée par les résultats des études engagées sur d'autres sites chasséens de la région (sites de Cugnaux, Villeneuve-Tolosane et Narbons en Haute-Garonne) dans le cadre de l'ACR (étude en cours⁶⁴). En effet, sur ces derniers sites, les $\delta^{13}\text{C}$ enregistrés dans le collagène de la faune et des individus humains sont significativement plus faibles que ceux des individus humains et des différents taxons du Crès. En revanche les $\delta^{15}\text{N}$ des humains des sites garonnais (région toulousaine) sont plus élevés que ceux du Crès (comm. pers. E. Herrscher). Ces différences sont similaires à celle que l'on observe entre l'individu 10b et le reste de la population du Crès. Il n'est par conséquent pas impossible que l'individu 10b du Crès provienne d'une région différente (garonnaise ?) du Languedoc. Notons enfin, que dans la même sépulture, un jeune individu (âgé d'environ 13-15 ans) était également inhumé et que ce dernier possède un $\delta^{15}\text{N}$ parmi les plus élevés du site en ce qui concerne l'analyse MPI-EVA (10,2 ‰ ; aucun résultat n'a été obtenu pour cet individu au laboratoire EPOC). Tout en restant prudent vis-à-vis de l'interprétation des données acquises par l'analyse biochimique, on peut se poser la question des liens (biologiques, sociaux) éventuels entre ces individus, susceptibles de leur conférer ces caractéristiques alimentaires ?

⁶³ Espèces vivant en mer et remontant en eau douce pour se reproduire (*e.g.* anchois).

⁶⁴ Le Bras-Goude (G.), Herrscher (H.) et Vaquer (J.) 2006, *Variabilité isotopique de populations chasséennes : implications paléoalimentaires*, Communication orale présentée lors de la 7^e Rencontre Méridionale de Préhistoire Récente, Lyon-Bron (novembre 2006).

L'individu 23, présente également une valeur de $\delta^{15}\text{N}$ élevé et une valeur de $\delta^{13}\text{C}$ dans la variabilité de la population du Crès (-19,9 ‰ pour l'étude MPI-EVA et -19,3 ‰ pour l'étude EPOC). L'individu 23 est difficile à décrire car seul un fragment crânien a été retrouvé, noté comme appartenant probablement à un enfant (Loison *et al.*, 2004). Après comparaison de l'épaisseur crânienne⁶⁵ avec d'autres immatures du site, il est probable que cet individu soit très jeune (peut-être de la classe d'âge 1-4 ans). Ce fragment osseux a donc été échantillonné sans que nous sachions qu'il pouvait appartenir à un très jeune enfant ; c'est le résultat isotopique qui nous a interpellé et nous a poussé à vérifier les restes crâniens. Dans ce cas, l'hypothèse d'une consommation du lait maternel (individu non sevré) pourrait expliquer le haut $\delta^{15}\text{N}$ enregistré. La présence au même niveau stratigraphique d'une prémolaire humaine⁶⁶, suggère donc que 2 individus au moins étaient présents dans cette sépulture. En raison d'un doute sur l'âge du sujet 23, cet individu est exclu de toute analyse statistique.

$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	Estimation de la proportion des ressources aquatiques dans les protéines consommées
-18,7	15,7	86 %
-18,9	15,3	81 %
-19,5	11,9	43 %
-20,2	10,9	32 %
-19,7	11,2	36 %

Tab. 46. Exemples de valeurs isotopiques du collagène osseux dans une population mésolithique d'Europe centrale consommant des ressources dulcicoles (Cook *et al.*, 2002).

Une étude comparative entre les données biologiques et archéologiques est proposée *infra* (§ c.4) de manière plus détaillée puisque l'effectif des individus permet une approche statistique.

⁶⁵ Comparaison effectuée avec l'aide de Yves Gleize (doctorant, LAPP UMR 5199-PACEA).

⁶⁶ Éruption de la première prémolaire vers 10 ans \pm 30 mois (Hillson, 1996).

Relations Homme/animal

MPI-EVA. Les valeurs isotopiques du collagène de la population humaine du site sont : $\delta^{13}\text{C}$ de $-19,8 \text{ ‰}$ ($\pm 0,5$ à 1σ ; $n = 23$) pour les adultes et de $-19,8 \text{ ‰}$ ($\pm 0,3$ à 1σ ; $n = 16$) pour les enfants ; $\delta^{15}\text{N}$ de $9,0 \text{ ‰}$ ($\pm 1,2$ à 1σ) pour les adultes et de $9,4 \text{ ‰}$ ($\pm 0,8$ à 1σ) pour les enfants. Les valeurs enregistrées sur les chiens sont proches de celles des individus humains. Ces derniers devaient probablement consommer des ressources isotopiquement similaires à celles de certains sujets de la population humaine. La différence qui existe entre les valeurs isotopiques de la population humaine et celles des herbivores est de $+ 0,1 \text{ ‰}$ pour le carbone et de $+ 2,8 \text{ ‰}$ pour l'azote. La place qu'occupent les individus dans le réseau trophique indique que dans l'ensemble, la population du site du Crès consommait des protéines issues de ressources mixtes (végétales et animales), dont les proportions de protéines animales varient selon les individus (Fig. 72).

EPOC. Les valeurs isotopiques du collagène de la population humaine du site sont les suivantes : $\delta^{13}\text{C}$ de $-19,5 \text{ ‰}$ ($\pm 0,6$ à 1σ ; $n = 16$) pour les adultes, et de $-19,5 \text{ ‰}$ ($\pm 0,3$ à 1σ ; $n = 12$) pour les enfants ; $\delta^{15}\text{N}$ de $8,2 \text{ ‰}$ ($\pm 0,9$ à 1σ) pour les adultes et de $7,9 \text{ ‰}$ ($\pm 0,7$ à 1σ) pour les enfants. Ces derniers ont des valeurs moyennes proches de celles des adultes et identiques à celles des chiens. Ces animaux devaient par conséquent consommer les mêmes ressources que certains individus humains. La différence qui existe entre les valeurs isotopiques des individus humains et celles des herbivores est de $+ 0,3 \text{ ‰}$ pour le carbone et de $+ 1,6 \text{ ‰}$ pour l'azote. D'une manière générale, la population du Crès consommait moins de ressources carnées que les individus de Montou et des Plots. Cette hypothèse doit cependant être pondérée car les effectifs de comparaison sont très hétérogènes. La place qu'occupent les individus humains dans le réseau trophique indique que dans l'ensemble, la population du site du Crès consommait des protéines issues de ressources mixtes (végétales et animales) dont les proportions de protéines animales varient selon les individus (Fig. 72).

L'origine des protéines carnées consommées ne peut pas être mise en évidence par l'étude isotopique puisque les différents taxons (excepté le chien) ont des valeurs isotopiques similaires. L'étude archéozoologique a mis en évidence la présence importante du bœuf mais on ne connaît pas encore vers quel type d'exploitation (viande, lait) la gestion des troupeaux est orientée. Dans la cas où la gestion du troupeau de bovins et/ou de caprinés est dirigée vers le lait, la consommation des jeunes animaux abattus pourrait expliquer les valeurs isotopiques de l'azote élevés chez certains sujets humains. Par ailleurs, l'étude carpologique partielle qui a pu être réalisée souligne l'importante quantité de macrorestes de céréales cultivées. Une consommation importante de ces végétaux au détriment des ressources carnées est une hypothèse qui pourrait expliquer les faibles, voire très faibles $\delta^{15}\text{N}$ enregistrés sur certains individus de la population.

	MPI-EVA					EPOC					Type de sépulture
	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	% C	% N	C/N	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	% C	% N	C/N	
Sép 1	-19,4	9,0	36,7	13,7	3,1	-19,3	8,1	39,0	14,2	3,2	FS
Sép 2	-19,4	8,6	42,3	14,1	3,5	-19,0	8,4	35,4	12,5	3,3	GDPP
Sép 3 a	-19,9	9,6	40,5	14,6	3,2	-19,6	8,4	35,8	12,5	3,3	SR
Sép 5 b	-19,6	9,5	33,6	11,1	3,5	-19,8	8,1	37,1	13,2	3,3	SR
Sép 5 c	-20,8	9,9	38,3	13,4	3,3	-20,6	8,3	37,8	13,8	3,2	SR
Sép 6	-20,0	8,4	37,3	13,7	3,2	-19,9	7,6	38,6	14,1	3,2	FS
Sép 7 a	-20,3	9,1	41,4	15,1	3,2	-19,6	7,5	37,2	14,1	3,1	PDPP
Sép 7 b	-20,6	9,6	37,4	12,5	3,5						PDPP
Sép 8 a	-19,9	6,8	37,9	13,9	3,2						GDP
Sép 8 b	-20,0	7,9	31,3	10,3	3,5	-19,3	7,8	35,2	13,5	3,0	GDP
Sép 8 c	-19,5	8,8	37,2	13,7	3,2	-19,2	7,7	34,4	12,8	3,1	GDP
Sép 8 d						-19,0	6,6	35,2	13,3	3,1	GDP
Sép 9	-19,7	8,7	41,4	14,9	3,2	-18,6	7,8	35,3	13,8	3,0	GDPP
Sép 10 a	-19,3	10,2	34,6	12,8	3,2						PDPP
Sép 10 b	-20,8	12,1	39,7	14,7	3,1	-20,6	11,1	42,0	15,5	3,1	PDPP
Sép 11 a	-19,6	9,1	33,4	11,8	3,3	-19,3	7,6	30,1	11,1	3,1	PDPP
Sép 11 b	-19,6	9,8	39,6	14,7	3,1	-19,5	7,5	39,0	14,3	3,2	PDPP
Sép 12 a	-19,7	9,1	39,9	14,7	3,2	-19,3	7,9	40,2	14,8	3,2	SR
Sép 12 b	-20,3	8,9	40,6	13,4	3,5	-20,0	8,1	36,9	13,2	3,2	SR
Sép 13	-20,2	7,1	45,4	14,9	3,5	-19,5	6,8	37,0	14,4	3,0	GDPP
Sép 14	-19,7	8,3	42,4	14,2	3,5						PDPP
Sép 15	-19,2	9,5	33,6	12,4	3,2	-19,2	8,5	39,9	14,5	3,2	FS
Sép 16	-19,5	8,7	37,8	14,0	3,1						FSO ?
Sép 19	-19,6	9,9	38,2	13,4	3,3	-19,4	8,6	38,0	13,8	3,2	FSO ?
Sép 20 a	-19,6	9,8	42,5	15,4	3,2	-19,2	7,3	39,1	14,3	3,2	SR
Sép 20 b	-19,9	8,8	37,5	14,0	3,1	-19,6	7,5	33,7	12,5	3,1	SR
Sép 20 c	-19,7	9,1	38,8	14,2	3,2	-20,0	8,5	37,9	13,7	3,2	SR
Sép 20 d	-19,7	9,9	39,9	14,3	3,2	-19,6	9,1	39,1	14,1	3,2	SR
Sép 20 e	-19,8	9,2	42,4	15,4	3,2	-19,5	8,1	38,3	13,8	3,2	SR
Sép 21	-19,8	9,5	41,3	15,1	3,2	-19,6	8,1	38,8	14,0	3,2	PDPPB
Sép 22	-19,8	9,1	36,7	13,5	3,2	-18,9	7,7	36,2	14,5	2,9	GDPPNB
Sép 23	-19,9	11,3	37,5	13,0	3,4	-19,3	9,4	29,9	10,7	3,2	SR
Sép 26	-20,8	4,7	41,9	13,9	3,5	-20,1	7,7	39,2	13,3	3,4	SR
Sép 28	-19,2	9,0	38,3	12,7	3,5						FSO ?
Sép 29	-19,5	10,1	41,2	15,0	3,2	-19,2	8,8	38,5	13,8	3,2	FSOB
Sép 30	-20,0	8,3	42,8	14,3	3,5						GDPPN
Sép 31						-18,9	8,5	35,0	13,3	3,1	SR ?
Sép 32	-19,3	8,6	40,2	13,6	3,4						FSOB
Sép 33	-19,8	8,9	43,1	13,7	3,2						FSOB
Sép 34	-20,4	8,8	44,8	14,8	3,0						SR ?
Sép 35	-19,3	9,6	36,0	13,3	3,2	-19,3	9,1	38,2	13,7	3,2	GDPP
Chien A	-19,3	8,7	37,0	13,7	3,2	-19,4	8,1	34,2	12,2	3,3	GDPP
Chien B	-19,8	7,6	31,1	11,1	3,3	-19,6	7,8	40,1	14,5	3,2	GDPP
Chien 7	-19,5	8,1	35,9	12,7	3,3						GDPP-Sép 13
Chien 73	-19,6	7,8	35,6	13,1	3,2	-19,5	7,9	34,1	12,0	3,3	SR
Chien 79	-19,8	7,8	32,3	12,0	3,1						SR-Sép 23
Bovin 73	-20,5	5,5	36,7	13,3	3,2	-20,4	6,1	29,7	10,9	3,2	
Bovin 79	-19,4	6,8	40,5	15,0	3,2	-19,4	6,7	30,3	11,1	3,2	
Bovin 123	-19,0	5,9	39,4	14,4	3,2	-18,4	6,1	41,1	15,1	3,2	
Bovin 131	-20,9	6,7	36,1	13,3	3,2	-19,8	7,3	29,3	10,9	3,1	
	MPI-EVA					EPOC					
	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	% C	% N	C/N	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	% C	% N	C/N	
Bovin 169	-20,1	6,7	35,4	13,0	3,2						
Capriné 6	-19,5	7,0	39,6	14,6	3,2	-19,8	6,8	36,8	12,5	3,4	
Capriné 42	-20,0	5,8	39,5	14,4	3,2	-20,2	6,0	35,0	12,8	3,2	
Mouton 123	-19,8	5,7	37,0	13,6	3,2						
Capriné 131	-20,2	5,8	38,5	12,9	3,5	-19,8	6,2	29,3	10,4	3,3	
Capriné 169	-20,2	6,8	37,2	12,7	3,4						
Chevreuil 73	-20,6	6,3	38,4	14,1	3,2	-20,6	6,4	31,1	11,2	3,2	

Tab. 47. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, % C, % N et C/N du collagène des restes osseux humains et animaux du Crès (analyses MPI-EVA), ainsi que les types de sépultures 5 (cf. § a.3) dans lesquelles sont inhumés les individus.

c.4 Comparaisons des paramètres biologiques et archéologiques

Le sexe

MPI-EVA. Sur le site du Crès, les $\delta^{13}\text{C}$ varient de -20,8 ‰ à -19,4 ‰ chez les femmes, de -20,8 ‰ à -19,3 ‰ chez les hommes et de -20,0 ‰ à -19,2 ‰ chez les individus non sexés. Concernant le $\delta^{15}\text{N}$, les valeurs enregistrées s'étendent de 4,7 ‰ à 9,9 ‰ pour les femmes, de 8,7 ‰ à 12,1 ‰ chez les hommes et de 8,3 ‰ à 9,6 ‰ pour les individus non sexés (Tab.). La comparaison statistique des valeurs isotopiques entre ces 3 groupes indique qu'aucune différence significative n'est observable, autant pour le $\delta^{13}\text{C}$ que pour le $\delta^{15}\text{N}$ (annexe 24). Toutefois, les plus faibles valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ sont généralement observées chez les sujets de sexe féminin.

EPOC. Concernant les analyses réalisées au laboratoire EPOC, on observe que les $\delta^{13}\text{C}$ varient de -20,6 ‰ à -19,0 ‰ chez les femmes, de -20,6 ‰ à -18,9 ‰ chez les hommes et de -19,9 ‰ à -19,2 ‰ chez les individus non sexés. Au niveau du $\delta^{15}\text{N}$, les valeurs enregistrées s'étendent de 6,8 ‰ à 8,4 ‰ pour les femmes, de 7,8 ‰ à 11,1 ‰ chez les hommes et de 7,6 ‰ à 8,5 ‰ pour les individus non sexés (Tab.). La comparaison des données isotopiques entre ces groupes met en évidence une différence significative entre les hommes et les femmes pour le $\delta^{15}\text{N}$ ($p = 0,04$; annexe 24). Toutefois lorsque l'on exclu le sujet 10b, dont le $\delta^{15}\text{N}$ est particulièrement élevé, cette différence n'est plus significative ($p = 0,07$).

L'ensemble de ces résultats, même s'ils sont moins probants lorsque l'on considère l'étude MPI-EVA, suggère que l'accès aux ressources riches en azote-15, telle que la viande, est probablement moins important chez les femmes (Le Bras-Goude *et al.*, 2006a) ; il est également possible que les individus féminins aient un accès de manière plus importante à des ressources animales et végétales de forêts denses et dont les sols peuvent être acides (*cf.* chap. II § A-4).

	$\delta^{13}\text{C}$ médiane	$\delta^{13}\text{C}$ moyen	$\delta^{13}\text{C}$ min.	$\delta^{13}\text{C}$ max.	$\Delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$ médiane	$\delta^{15}\text{N}$ moyen	$\delta^{15}\text{N}$ min.	$\delta^{15}\text{N}$ max.	$\Delta^{15}\text{N}$
MPI-EVA										
Femmes (n = 9)	-19,9	-20,0	-20,8	-19,4	1,4	8,6	8,2	4,7	9,9	4,2
Hommes (n = 8)	-19,6	-19,8	-20,8	-19,3	1,5	9,0	9,5	8,7	12,1	3,4
Indéterminés (n = 6)	-19,5	-19,5	-20,0	-19,2	0,8	8,8	8,9	8,3	9,6	1,3
EPOC										
Femmes (n = 7)	-19,5	-19,6	-20,6	-19,0	1,6	7,7	7,8	6,8	8,4	1,6
Hommes (n = 7)	-19,3	-19,3	-20,6	-18,9	1,7	8,3	8,8	7,8	11,1	3,2
Indéterminés (n = 3)	-19,6	-19,6	-19,9	-19,2	0,7	8,4	8,2	7,6	8,5	0,9

Tab. 48. Médianes, moyennes, minimum, maximum et variations des valeurs isotopiques du carbone et de l'azote (analyses MPI-EVA et EPOC) du collagène chez les femmes, les hommes et les individus de sexe indéterminés du site du Crès.

L'âge au décès des adultes

Les sujets adultes du Crès ont initialement été répartis en groupes d'âge⁶⁷, toutefois nous avons choisi de revoir l'estimation de leur âge au décès à partir de la méthode Schmitt (2005)⁶⁸, afin de comparer, dans la mesure du possible, différentes classes d'âge. La préservation de quelques surfaces auriculaires du coxal a permis de réévaluer les classes d'âge de façon fiable (à 80 %), mais malheureusement pas toujours précise, compte tenu de la mauvaise conservation générale des os coxaux (annexe 7).

Les sujets adultes du Crès se répartissent selon les groupes : > 20 ans, 20-39 ans, 20-49 ans, > 30 ans, > 40 ans, > 50 ans et > 60 ans. Le regroupement de la population dans les classes d'âge suivantes : jeunes (20-29 ans), matures (30-49 ans) et âgés (> 50 ans), ne permet pas d'effectuer des comparaisons en raison du faible effectif des jeunes adultes et de l'impossibilité de placer les individus dont l'âge est estimé entre 20 et 49 ans. Néanmoins, il est possible d'étudier des classes d'âge plus larges, séparant les individus les plus âgés du reste de la population : 20-49 ans et > 50 ans. Dans ce cas précis, aucune différence, autant pour le $\delta^{13}\text{C}$ que pour le $\delta^{15}\text{N}$, n'est observable entre les individus < 50 ans et > 50 ans (étude uniquement réalisée avec les résultats d'analyses MPI-EVA ; annexe 25 et 26).

Le regroupement en classes d'âge proposé par Debono et collaborateurs (2004) sur une série archéologique, à savoir la formation d'une classe d'âge comprenant les individus jeunes (20-39) et des individus de moins de 50 ans (20-49), et une classe d'âge comprenant des individus de plus de 30 ans (matures et âgés), est également une solution intéressante pour notre série. Nous sommes consciente cependant, que certains individus ayant le même âge sont susceptibles d'être répartis dans deux groupes différents, ce qui confère un biais à l'analyse. Les résultats du test non paramétrique, comparant les valeurs isotopiques entre les individus de moins de 50 ans et ceux de plus de 30 ans, nous informe qu'aucune différence significative n'est observable entre ces groupes, autant pour le carbone que pour l'azote (annexe 25 et 26) ; ces résultats sont observables dans les deux études (MPI-EVA et EPOC). Il semble donc, qu'il n'existe pas de différence entre la consommation de protéines animales et la classe d'âge de l'individu, parmi les individus du Crès étudiés. Le faible nombre d'individus et le mauvais état de conservation du matériel osseux ne permet malgré tout pas de conclure sur cette analyse.

⁶⁷ Estimation de l'âge au décès effectuée par les anthropologues du site archéologique : > 20 ans, « âgé » et « adulte » pour les individus dont l'estimation n'a pas pu être réalisée en raison de l'absence ou de la mauvaise conservation des ossements.

⁶⁸ Estimation effectuée avec l'aide de Sacha Kacki (étudiant au LAPP UMR 5199-PACEA).

L'âge au décès des immatures

L'âge au décès des immatures a été estimé⁶⁹ sur quelques individus du Crès. La comparaison entre les données isotopiques et l'âge au décès des immatures est difficile à analyser si l'on considère les classes d'âge utilisées dans les études paléodémographiques (1-4, 5-9, 10-14 et 15-19 ; Ledermann, 1969), les effectifs de chacune d'elle étant faibles. Ainsi, nous avons choisi de répartir les individus immatures en fonction de l'estimation de l'âge au décès individuel proposée pour chaque individu et de comparer leur $\delta^{15}\text{N}$ du collagène.

Lorsque les résultats d'analyses réalisées au laboratoire MPI-EVA sont pris en compte, une corrélation positive significative entre l'âge au décès estimé et le $\delta^{15}\text{N}$ est mise en évidence ($p = 0,02$). On observe qu'entre environ 4 et 14 ans le $\delta^{15}\text{N}$ tend à augmenter dans le collagène osseux des immatures (Fig. 73) ; toutefois la corrélation observée est faible ($R^2 = 0,33$) et principalement due à la présence d'un jeune sujet ayant un $\delta^{15}\text{N}$ faible et d'un adolescent qui possède le $\delta^{15}\text{N}$ le plus élevé chez les immatures. Lorsque l'on exclu de l'analyse ces deux sujets, aucune corrélation n'est mise en évidence ($p = 0,33$) ; il en est de même lorsque l'on prend en compte les résultats d'analyses obtenues au laboratoire EPOC (annexe 27).

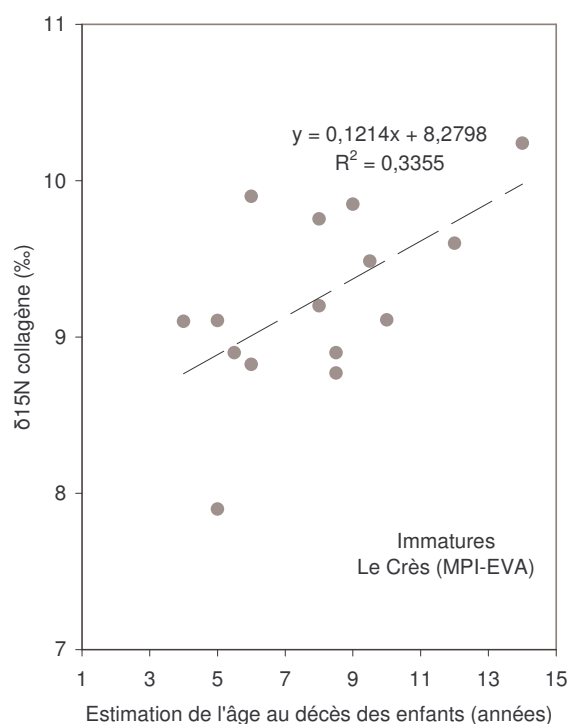


Fig. 73. $\delta^{15}\text{N}$ du collagène en fonction de l'âge au décès des immatures sur le site du Crès à partir des analyses MPI-EVA.

⁶⁹ Estimation effectuée par les anthropologues de chaque site archéologique.

Bien que la tendance soit peu marquée, le rapport possible entre les valeurs isotopiques de l'azote et l'âge au décès estimé chez les immatures peut être dues à différents facteurs :

- la consommation de ressources riches en azote-15 évolue avec l'âge des enfants. Cette évolution des choix alimentaires pourrait être mise en parallèle avec la place que ces derniers occupent au sein de la société ; dans ce cas, il n'est pas impossible que le sexe de l'enfant joue également un rôle important.
- l'augmentation du $\delta^{15}\text{N}$ dans le tissu osseux peut être lié à la croissance des enfants. En effet, l'activité physiologique induite par les phénomènes de croissance, nécessite un apport en protéines suffisant ; ce phénomène peut être enregistré par l'organisme comme un signal de stress, dans le cas où la quantité de protéines fournie par l'alimentation n'est pas assez conséquente. Ainsi, l'organisme peut utiliser les acides aminés présents, enrichis en ^{15}N , puisque le ^{14}N est préférentiellement excrété dans l'urée (Katzenberg et Lovell, 1999). Par ailleurs, les travaux réalisées par Herrscher (Herrscher, 2003 ; Herrscher et Valentin, 2005) sur les enfants de Saint-Laurent de Grenoble (Moyen Age, France) ont montré qu'il existe un enrichissement en azote-15 (de 0,3 à 0,7 ‰) de l'os en formation (par rapport à l'os en renouvellement normal) pouvant être corrélé à une forte activité de croissance entre 5 et 9 ans. Toutefois, même si une majorité des enfants étudiés sur le site du Crès ont un âge estimé entre 5 et 9 ans ($n = 12$), ce schéma est difficilement applicable à notre population car les parties anatomiques échantillonnées ne sont pas identiques pour tous les enfants. De plus, le principe de l'échantillonnage multiple (sur différents tissus en renouvellement rapide et normal et sur des tissus dentaires en formation ; Balasse, 1999 ; Herrscher, 2003) n'a pas été réalisé sur nos échantillons, ce qui ne nous permet pas de discuter avec pertinence la question de la relation entre variation du $\delta^{15}\text{N}$ et croissance.

Comparaison des adultes/immatures

MPI-EVA. Les valeurs isotopiques des enfants s'échelonnent dans la variabilité de celles enregistrées dans le collagène des adultes. Les $\delta^{13}\text{C}$ des immatures s'étendent de -20,6 ‰ à -19,3 ‰ et de -20,8 ‰ à -19,2 ‰ chez les adultes. Concernant le $\delta^{15}\text{N}$, l'amplitude est importante, variant de 7,9 ‰ à 10,2 ‰ chez les immatures et de 4,7 ‰ à 12,1 ‰ chez les adultes (Tab.), soulignant des choix alimentaires variés au sein de ces deux groupes. La comparaison des données isotopiques entre ces deux groupes n'indique aucune différence significative, autant pour le $\delta^{13}\text{C}$ que pour le $\delta^{15}\text{N}$ (annexe 24).

EPOC. Les valeurs isotopiques du carbone des immatures s'étendent de -20,0 ‰ à -19,2 ‰ et celles des adultes de -20,6 ‰ à -18,9 ‰. L'amplitude des valeurs isotopiques de l'azote est importante chez les deux groupes humains, particulièrement chez les adultes, indiquant des choix alimentaires variés. Le $\delta^{15}\text{N}$ varie de 6,6 ‰ à 9,1 ‰ chez les immatures et de 6,8 ‰ à 11,1 ‰ chez les adultes (Tab.). Ici également, la comparaison des données isotopiques entre ces deux groupes n'indique aucune différence significative, autant pour le $\delta^{13}\text{C}$ que pour le $\delta^{15}\text{N}$ (annexe 24).

	$\delta^{13}\text{C}$ médiane	$\delta^{13}\text{C}$ moyen	$\delta^{13}\text{C}$ min.	$\delta^{13}\text{C}$ max.	$\Delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$ médiane	$\delta^{15}\text{N}$ moyen	$\delta^{15}\text{N}$ min.	$\delta^{15}\text{N}$ max.	$\Delta^{15}\text{N}$
MPI-EVA										
Immatures (n = 15)	-19,8	-19,8	-20,6	-19,3	1,3	9,1	9,2	7,9	10,2	2,3
Adultes (n = 22)	-19,7	-19,8	-20,8	-19,2	1,6	9,0	8,8	4,7	12,1	7,3
EPOC										
Immatures (n = 13)	-19,5	-19,5	-20,0	-19,0	1,0	7,8	7,9	6,6	9,1	2,5
Adultes (n = 16)	-19,4	-19,5	-20,6	-18,9	1,7	8,1	8,2	6,8	11,1	4,3

Tab. 49. Médianes, moyennes, minimum, maximum et variations des valeurs isotopiques du carbone et de l'azote (analyses MPI-EVA et EPOC) du collagène chez adultes et les immatures du site du Crès.

La stature

Seule la stature de quelques individus du Crès a pu être estimée⁷⁰ (Loison *et al.*, 2004 ; annexe 22). De ces données, plusieurs analyses sont réalisées, sur les hommes et les femmes séparément et sur l'ensemble de la population : une corrélation stricte entre la taille estimée et les valeurs isotopiques et un test non paramétrique entre des groupes de statures et les valeurs isotopiques. Compte tenu du faible nombre d'individus, pour lequel le sexe a pu être déterminé, les groupes de statures sont réalisés à partir de l'isoamplitude. Sachant qu'il existe généralement un dimorphisme sexuel au niveau de la stature (Wolfe et Gray, 1982), les groupes de stature sont établis différemment selon les sexes. Pour les hommes, les classes de statures sont les suivantes : petits (147,6 à 155,4 cm), moyens (155,5-163,2 cm) et grands (163,3-171,0 cm), et pour les femmes : petites (142,3-147,2 cm), moyennes (147,3-152,1 cm) et grandes (152,2-157,0 cm).

⁷⁰ Étude effectuée sur le site du Crès d'après la méthode de Cleuvenot et Houët (Cleuvenot et Houët, 1993 ; Loison *et al.*, 2004).

MPI-EVA. Les résultats obtenus de ces analyses signalent qu'aucune corrélation significative entre les valeurs isotopiques et la stature, autant chez les hommes que chez les femmes, n'a pu être mise en évidence (annexe 28 ; Fig. 74). De même, les tests statistiques réalisés montrent qu'il n'existe pas de différence significative entre les groupes de petite, moyenne et grande taille et les données isotopiques, chez les femmes et chez les hommes. Si l'on souhaite effectuer une analyse qui prend en compte l'ensemble des individus (non sexes compris), nous devons au préalable tenir compte des relations possibles entre le sexe et la taille dans la population du Crès. Pour tester cette relation, le test des probabilités exactes de Fisher a été appliqué et le résultat indique que dans le cas de notre faible échantillon les facteurs sexe et taille sont indépendants (annexe 28). De fait, une autre analyse comparative entre la taille et les valeurs isotopiques a été réalisée en regroupant l'ensemble de la population sans distinction de sexe. Les classes de stature se répartissent alors de la façon suivante : petits (142,3-151,8 cm), moyens (151,9-161,3 cm) et grands (161,4-171,0 cm). Contrairement aux analyses précédentes, les résultats des tests statistiques mettent en évidence une différence significative entre les groupes de petite taille et de taille moyenne et le $\delta^{15}\text{N}$ ($p = 0,02$). Les premiers ont en effet un $\delta^{15}\text{N}$ en moyenne plus faible (8,1 ‰ ; $n = 9$) que les seconds (9,8 ‰ ; $n = 7$).

EPOC. L'étude de la relation entre la stature estimée et les données isotopiques obtenues au laboratoire EPOC n'a pu être réalisée que sur les individus chasséens du Crès. Les groupes de stature ont été réalisés à partir du même modèle que celui proposé dans l'analyse précédente et dans ce cas les tests réalisés entre les groupes de stature n'indiquent aucune différence significative entre les valeurs isotopiques des individus et leur taille, lorsque les femmes et les hommes sont étudiés séparément (annexe 28 ; Fig. 74). Lorsque l'ensemble de la population est prise en compte (indéterminés, hommes et femmes), une différence significative du $\delta^{15}\text{N}$ est observée entre les groupes de petite taille et de taille moyenne ($p = 0,03$; annexe 28). En effet, les individus de petite taille ont un $\delta^{15}\text{N}$ plus faible (7,8 ‰ ; $n = 7$) que ceux de taille moyenne (8,8 ‰ ; $n = 7$). Ce résultat rejoint par ailleurs celui obtenu par l'étude MPI-EVA.

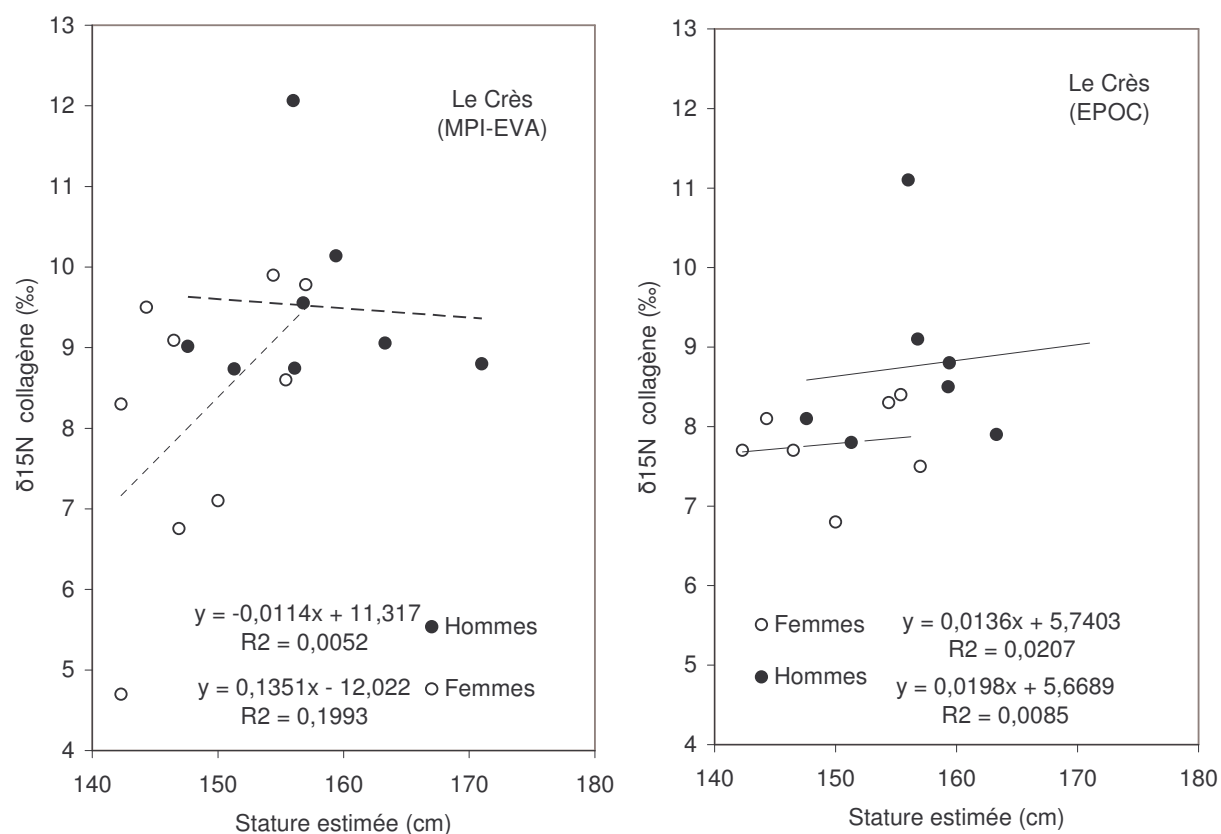


Fig. 74. $\delta^{15}\text{N}$ du collagène osseux et stature estimée pour les individus féminins et masculins du Crès (analyses MPI-EVA et EPOC)

L'ensemble des résultats des deux études se rejoint, soulignant ainsi qu'il est possible que les individus de petite taille aient eu une alimentation moins riche en protéines animales que ceux de taille moyenne, ou bien que leur origine géographique soit différente. En revanche, aucune différence significative n'est observée entre les sujets de grande taille et les autres. L'effectif réduit et le mode de répartition des classes de stature, peut-être mal adapté, ne permet certainement pas de conclure sur ces analyses. Signalons également que pour le Néolithique, aucun résultat d'études publiées n'a, pour le moment, conduit à des relations entre alimentation et stature, mais ce paramètre biologique est souvent absent des données présentées.

L'état sanitaire

Quelques pathologies dentaires ont pu être relevées sur des individus du Crès et certains sujets se distinguent, caractérisés par de nombreuses pertes dentaires *ante mortem* (8a) et d'importantes résorptions de l'os alvéolaire (10b). Le sujet 10b (12,1 ‰ pour l'étude MPI-EVA et 11,1 ‰ pour l'étude EPOC) possède le $\delta^{15}\text{N}$ le plus élevé de la population du Crès ; l'hypothèse d'une relation entre la consommation de ressources riches en protéines animales et les problèmes parodontaux n'est pas impossible. En effet, les résorptions de l'os alvéolaire, et à plus ou moins long terme les déchaussements dentaires, peuvent être favorisés par la présence importante de tartre⁷¹. Il est à noter également que plus l'alimentation d'un individu est riche en produits alcalins et en protéines, plus la présence de tartre risque d'être conséquente (Lieverse, 1999). Aucune étude spécifique n'a mis en relation la présence de problèmes parodontaux et la composition isotopique du collagène, mais il n'est pas impossible que l'alimentation de l'individu 10b soit un facteur favorisant ce type de pathologie. En revanche, l'individu 8a (uniquement étudié au laboratoire MPI-EVA) possède un $\delta^{15}\text{N}$ parmi les plus bas (6,8 ‰) de la population du Crès et chez ce sujet, de nombreuses pertes dentaires *ante mortem* ainsi que d'importantes usures dentaires ont été enregistrées. Les attritions et le $\delta^{15}\text{N}$ témoigneraient en faveur d'une consommation importante d'aliments abrasifs (végétaux, aliments moulus), et une faible consommation de ressources animales chez cet individu.

Peu de pathologies et d'anomalies osseuses ont pu être enregistrées sur les individus du Chasséen. L'observation d'une suture métopique sur un sujet (individu 15) dans la population du Crès est toutefois intéressante (*cf.* Chap. II § B). Les valeurs isotopiques de cet individu ne se distinguent pas du reste de la population (étude MPI-EVA et EPOC) ; il est par conséquent possible que (1) l'individu ait eu des carences alimentaires et en protéines animales (et donc probablement en fer) mais uniquement durant l'enfance et/ou que (2) la persistance de la suture métopique soit liée dans ce cas à d'autres facteurs.

Même si pour quelques cas anecdotiques les pathologies dentaires sont susceptibles d'être mises en relation avec les données isotopiques et donc avec l'alimentation, il n'en reste pas moins que parmi l'ensemble des sujets étudiés, l'état sanitaire et les valeurs isotopiques obtenues ne semblent pas présenter de corrélation. Néanmoins, il faut garder à l'esprit que l'état sanitaire d'un individu est un facteur important qui peut influencer les mécanismes physiologiques et par conséquent jouer un rôle dans l'élimination et le recyclage de l'azote (Stewart, 1975 ; Katzenberg et Lovell, 1999 ; Fuller *et al.*, 2004 ; Balter *et al.*, 2005).

⁷¹ Toutefois, la sénescence est un facteur de déchaussement dentaire des plus importants.

Le type de sépultures

Différents types de sépultures sont observés sur les sites étudiés et en particulier au Crès : les fosses-silos (aménagements domestiques) et les fosses funéraires, simples ou avec divers aménagements lithiques. La diversité des types de sépultures au Crès nous a permis de réaliser une étude statistique afin de comparer les individus inhumés à l'intérieur de structures originellement domestiques et ceux inhumés à l'intérieur de structures strictement funéraires. Cette analyse est un point essentiel de notre travail. En effet, plusieurs recherches ont été effectuées sur la présence et l'utilisation des fosses-silos (Duday et Vaquer, 2003) et leur origine et leur signification restent encore énigmatiques : fosses domestiques réutilisées à des fins funéraires ou fosses strictement funéraires ? (Beeching et Crubézy, 1998 ; Loison *et al.*, 2004). L'objectif principal de cette comparaison est d'identifier l'existence possible d'une consommation de ressources protéiniques plus riches en ^{15}N chez les individus inhumés dans des structures funéraires (et plus particulièrement aménagées par des blocs de pierres) que chez les individus inhumés dans des fosses silo et de discuter des relations possibles entre le « statut social » et l'alimentation.

MPI-EVA. La comparaison des valeurs isotopiques du collagène entre les individus inhumés en fosse de type domestique en fosse funéraire ne révèle aucune différence significative ($p > 0,05$). Cette remarque est identique lorsqu'il s'agit des individus inhumés en fosse de type domestique, en fosse funéraire sans dispositif et avec dispositif de fermeture.

EPOC. De la même manière que pour les analyses MPI-EVA, la comparaison des valeurs isotopiques du collagène entre les individus inhumés en fosse de type domestique en fosse funéraire ne révèle aucune différence significative. En revanche, le type de structure : fosse de type domestique, fosse comprenant un dispositif de fermeture et/ou de signalement de la tombe se révèle être un facteur de discrimination du $\delta^{13}\text{C}$ lorsque les résultats du laboratoire EPOC sont pris en compte (annexe 29). Les premiers ont en effet un $\delta^{13}\text{C}$ (-19,7 ‰ ; $n = 12$) en moyenne plus faible que les seconds (-19,1 ‰ ; $n = 6$). Dans ce cas précis, il est possible que les individus inhumés dans les fosses de type domestique aient consommé des ressources dont les protéines ont un $\delta^{13}\text{C}$ moins élevé (ressources issues de milieu fermé ou ayant une origine géographique différente) que les autres sujets.

Cinq catégories, dont 4 strictement funéraires (Fig. 75 ; Fig. 77), définies par Loison et collaborateurs (2004), regroupent l'ensemble des structures contenant les défunts mises au jour sur le site du Crès :

- FS : fosse sépulcrale simple⁷² ;
- PDPP(B) : fosse à petit diamètre peu profonde (avec bloc de parement)⁷³ ;
- FSO(B) : fosse à ouverture oblongue (avec bloc de parement)⁷⁴ ;
- GDP(P)(N)(B) : fosse à grand diamètre (peu) profonde (avec niche ou bloc de parement)⁷⁵ ;
- SR : fosse de stockage⁷⁶

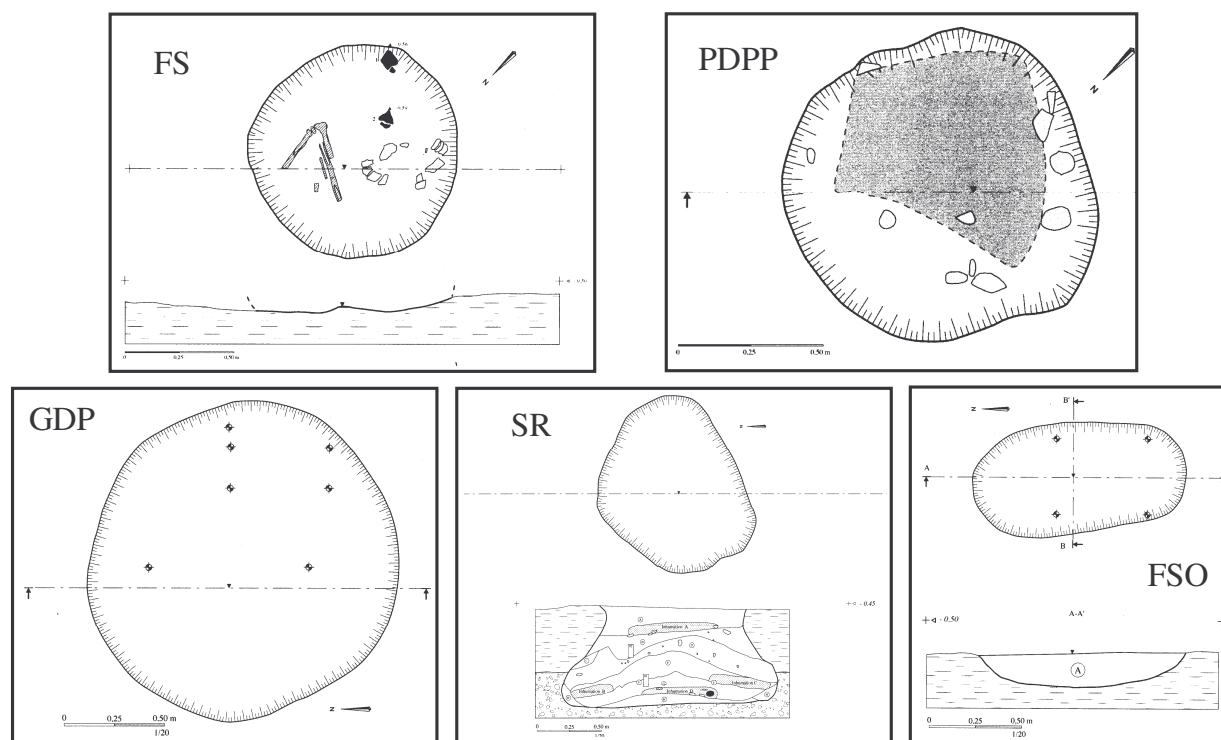


Fig. 75. Schémas des différentes morphologies de fosses funéraires sur le site du Crès (iconographie issue de Loison *et al.*, 2004).

⁷² Sépultures 1, 6, 15 et 18.

⁷³ PDPP : sépultures 10a, 10b, 11a, 11b, 11c et 14 ; PDPPB : sépulture 21.

⁷⁴ FSO (?) : sépultures 16, 19, 28 ; FSOB : sépultures 27, 29, 32, 33.

⁷⁵ GDP : sépultures 8a, 8b, 8c, 8d ; GDPP : sépultures 2, 9, 13 et 35 ; GDPPN : sépulture 30 ; GDPPNB : sépulture 22.

⁷⁶ Sépultures 3b, 3c, 5a, 5b, 5c, 5d, 12a, 12b, 12c, 20a, 20b, 20c, 20d, 20e, 20f.

MPI-EVA. Les groupes de sépultures présents sur le site comportent des défunts dont les valeurs isotopiques de l'azote et du carbone se distinguent (annexe 30 ; Fig. 76). Les sujets inhumés dans les fosses de type SR et PDPP(B) ont effectivement des $\delta^{15}\text{N}$ différents de ceux inhumés dans les fosses de type GDP(P)(N)(B) ; les seconds possèdent dans l'ensemble un $\delta^{15}\text{N}$ plus faible (8,3 ‰ ; n = 9) que les premiers (9,3 ‰ ; n = 20). De la même manière, les individus inhumés dans les fosses de type PDPP(B) présentent des valeurs isotopiques de l'azote, dans l'ensemble plus élevées (9,7 ‰ ; n = 8), que les autres individus du site du Crès (8,9 ‰ ; n = 30). Ces distinctions sont également valables pour le $\delta^{13}\text{C}$: les individus inhumés dans les fosses de type FSO(B) ont des $\delta^{13}\text{C}$ significativement différents des sujets inhumés en fosse de type PDPP(B) et très significativement différents de ceux inhumés dans les fosses de type SR. Les sujets des fosses FSO(B) présentent effectivement des $\delta^{13}\text{C}$ plus élevés (-19,4 ‰ ; n = 6) que ceux des fosses SR et PDPP (-20,0 ‰ ; n = 20).

EPOC. Avec les résultats obtenus au laboratoire EPOC, les valeurs isotopiques, mais uniquement du carbone, sont significativement différentes entre les individus, en fonction du groupe de sépulture. Les sujets inhumés dans les fosses de type SR et PDPP(B) possèdent effectivement des $\delta^{13}\text{C}$ distincts de ceux inhumés dans les fosses de type GDP(P)(N)(B) (annexe 30 ; Fig. 76) ; les seconds ont dans l'ensemble un $\delta^{13}\text{C}$ plus élevé (-19,1 ‰ ; n = 8) que les premiers (-19,7 ‰ ; n = 20).

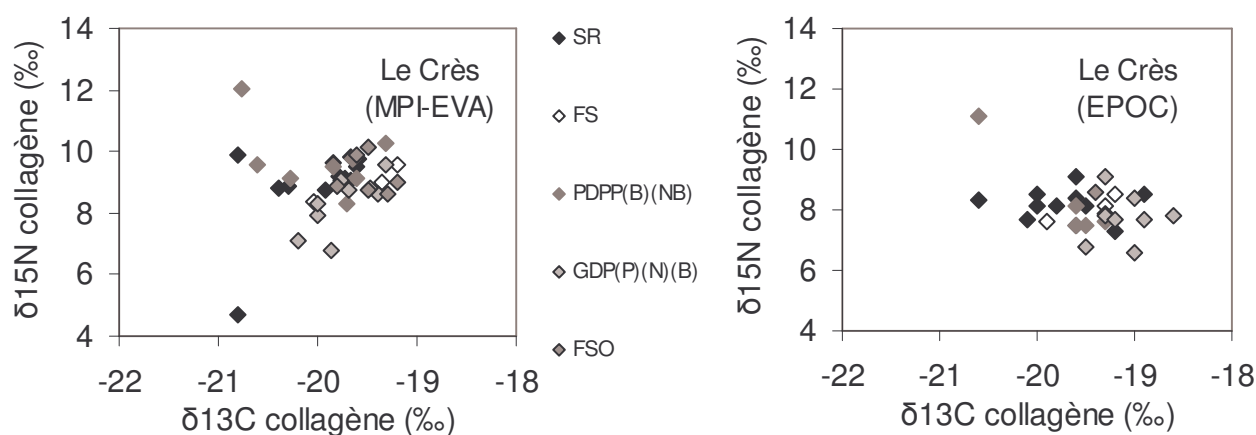


Fig. 76. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des individus humains du Crès répartis dans les différents types de fosses.

Malgré l'absence de concordance statistique entre les deux études (MPI-EVA et EPOC), l'ensemble de ces résultats tend à montrer que les individus des fosses-silos et des fosses sépulcrales à petit diamètre se distinguent des autres sujets de la population du Crès. Il est possible que ces individus (SR et PDPP) aient préférentiellement eu accès à des ressources protéiniques plus riches en azote-15 et plus pauvres en carbone-13 ; ces ressources pouvant provenir d'un environnement différent. Se pose alors la question de l'origine géographique, potentiellement différente, de ces sujets. L'accès à des ressources dont les $\delta^{13}\text{C}$ sont significativement plus faibles et les $\delta^{15}\text{N}$ significativement plus élevés que celles (ressources animales) disponibles sur le site du Crès a par ailleurs été signalé sur des sites chasséens de la Garonne (comm. pers. E. Herrscher). Il n'est donc pas improbable que certains individus du Crès aient régulièrement consommé le même type de ressources, en raison de mouvements de population, pouvant être liés à la circulation des matières premières, des objets et des animaux par exemple.

Précisons également que les fosses-silos (SR) et de petit diamètre (PDPP) sont particulières dans le sens où on ne connaît pas actuellement le « statut funéraire » des premières et les secondes se différencient des autres fosses funéraires par la présence de plusieurs inhumations en leur sein, schéma que l'on retrouve moins fréquemment dans les autres types de fosses sépulcrales sur le site du Crès (Loison *et al.*, 2004). Signalons également que les sujets inhumés dans les sépultures les plus élaborées (sépulture avec bloc de parement ou niche) font majoritairement partie des autres groupes de sépultures que celles dont les fosses sont de type SR ou PDPP.

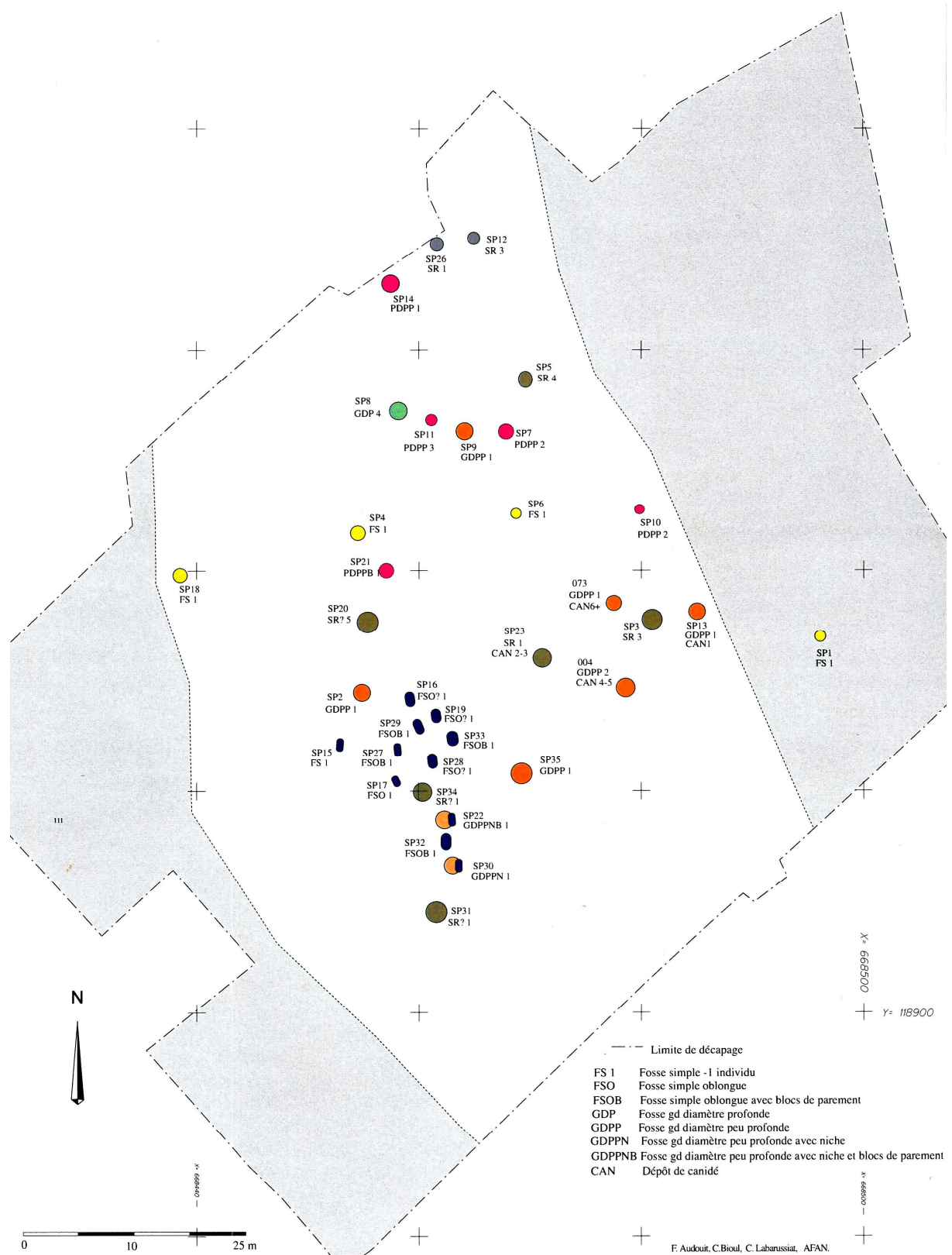


Fig. 77. Répartitions des différents types de sépultures sur le site du Crès (plan issu de Loison *et al.*, 2004).

Sépulture individuelle versus sépulture plurielle

Différents modes d'inhumation ont été observés sur l'ensemble des sites du Néolithique moyen étudiés : des inhumations simples et des inhumations plurielles (Chambon, 2003). Parmi ces dernières, sur le site du Crès, des niveaux d'inhumation séparés par des couches sédimentaires (sépultures 3, 5, 10 et 12), ne permettant pas de statuer sur la contemporanéité des dépôts, ont été mis en évidence. En revanche, toujours sur le site du Crès, d'autres sépultures plurielles (7, 8, 11 et 20) témoignent plus vraisemblablement des dépôts funéraires proches dans le temps (Loison *et al.*, 2004).

MPI-EVA. Les sujets contenus dans les sépultures plurielles comparés à ceux inhumés seuls ne présentent pas les mêmes $\delta^{15}\text{N}$ (annexe 31 ; Fig. 78). En effet, le collagène osseux des premiers présente des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ significativement plus élevées (9,3 ‰ ; n = 19) que chez les inhumés seuls (8,7 ‰ ; n = 19). Cette observation n'est pour l'instant valable que sur le site du Crès puisqu'à Coste Rouge, l'individu, qui possède un très haut $\delta^{15}\text{N}$, est inhumé dans une sépulture simple ; l'absence d'individus de comparaison sur ce site empêche toutefois de proposer une hypothèse pertinente. Par ailleurs, l'espace de décomposition ne semble pas distinguer les sujets puisqu' aucune différence significative n'est soulignée entre les valeurs isotopiques des individus décomposés en espace vide et ceux en espace colmaté.

EPOC. Contrairement à ce que l'on observe à partir de l'étude MPI-EVA, ce sont les $\delta^{13}\text{C}$ des individus inhumés en sépultures simples et en sépultures plurielles qui se distinguent (annexe 31 ; Fig. 78). Les sujets inhumés seuls ont effectivement des valeurs isotopiques du carbone plus élevées en moyenne (-19,3 ‰ ; n = 13) que les autres (-19,6 ‰ ; n = 17). En revanche, la comparaison des données entre les individus inhumés en espace colmaté et ceux inhumés en espace vide n'indique aucune différence significative, et ce autant pour le $\delta^{13}\text{C}$ que pour le $\delta^{15}\text{N}$.

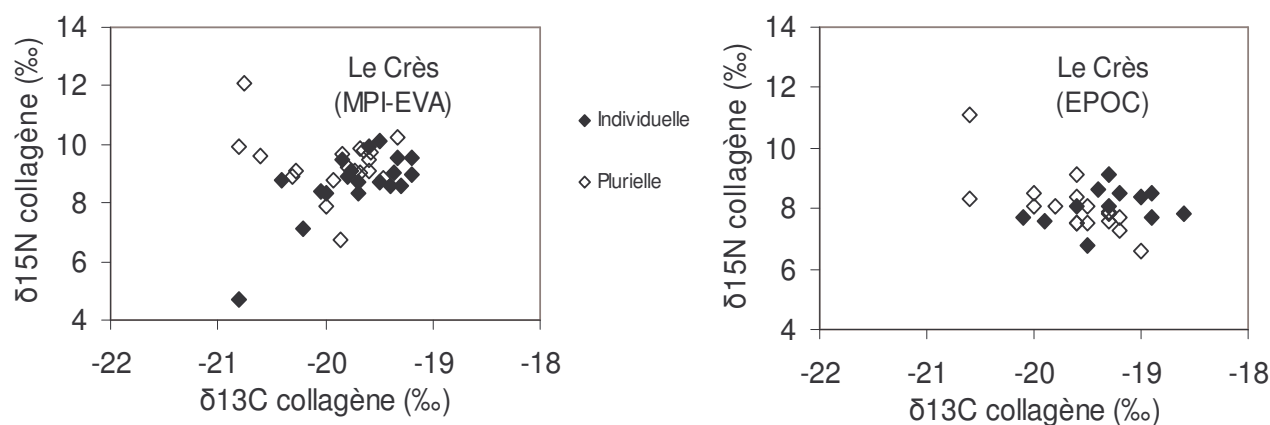


Fig. 78. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des individus humains du Crès répartis entre sépultures individuelles et plurielles.

L'ensemble de ces résultats rejoint ceux obtenus à partir de l'analyse précédente comparant les types de fosses funéraires. Il s'avère en effet que les sujets du Crès inhumés dans des sépultures contenant d'autres individus ont des valeurs isotopiques du carbone et de l'azote qui se distinguent des autres. De plus, ces sujets (sépultures plurielles) sont majoritairement inhumés dans les fosses de type silo (SR) ou les fosses profondes de petit diamètre (PDPP) (Loison *et al.*, 2004). Ces remarques suggèrent que des choix alimentaires pouvaient être distincts selon les individus de la population et que l'accès à des ressources isotopiquement différentes, voire une origine géographique autre et/ou des mouvements de population sont des hypothèses susceptibles d'expliquer les différences de $\delta^{13}\text{C}$ et de $\delta^{15}\text{N}$ que l'on observe entre deux ensembles (individus inhumés à plusieurs en fosse de type silo ou profonde à petit diamètre/individus inhumés seuls dans les fosses funéraires simples, à grand diamètre ou oblongues) de la population du Crès. L'étude du mobilier lithique, céramique et en matière dure animale associé aux défunts sur ce site apportera peut-être de nouveaux éléments qui pourront étayer ou non nos hypothèses.

Les secteurs d'inhumation

Plusieurs ensembles d'aménagement de structures ont été identifiés sur le site du Crès. Ces ensembles se caractérisent par la concentration des aménagements, leur typologie et leur remplissage (Fig. 80 ; Loison *et al.*, 2004). Quatre d'entre-eux comportent des sépultures :

- le groupe 2 : ensemble de la partie nord-est du site. Certaines fosses y ont été datées du Chasséen ancien (études céramique et lithique) ;
- le groupe 3 : ensemble de la partie centre-ouest du site. Certaines fosses y ont été datées du Chasséen ancien (étude céramique) ;
- le groupe 4 : ensemble situé dans la partie sud du site. Certaines fosses y ont été datées du Chasséen ancien (étude typologique du matériel associé). Des inhumations de canidés sont également retrouvées dans ce secteur ainsi que des éléments de mouture ;
- le groupe 6 : ensemble situé au centre du site. Cet espace semble réservé aux pratiques funéraires et il est probable que ces structures soient les plus anciennes du site.

MPI-EVA. Les tests non paramétriques appliqués pour comparer ces différents groupes indiquent qu'il existe une différence significative entre les $\delta^{13}\text{C}$ des individus inhumés dans les secteurs 2 et 6 (annexe 31 ; Fig. 79). Les valeurs isotopiques du carbone les plus élevées sont effectivement enregistrées dans le collagène osseux des sujets du secteur 6 avec une valeur moyenne de $-19,6\text{‰}$ ($n = 11$) contre $-20,0\text{‰}$ ($n = 14$) chez les sujets du secteur 2.

EPOC. Les tests statistiques utilisés pour comparer les données isotopiques des différents ensembles sépulcraux indiquent qu'il existe une différence significative entre les $\delta^{15}\text{N}$ des individus du secteur 2 et ceux du secteur 6, mais également entre les $\delta^{13}\text{C}$ des sujets du secteur 3 et ceux du secteur 6 (annexe 31 ; Fig. 79). Les sujets du secteur 6 ont des $\delta^{13}\text{C}$ ($-19,1\text{‰}$; $n = 5$) plus élevés et des $\delta^{15}\text{N}$ plus faibles ($8,4\text{‰}$; $n = 5$) que les sujets du secteur 3 ($-19,6\text{‰}$; $n = 6$) et ceux du secteur 2 ($-20,0\text{‰}$; $n = 12$) respectivement.

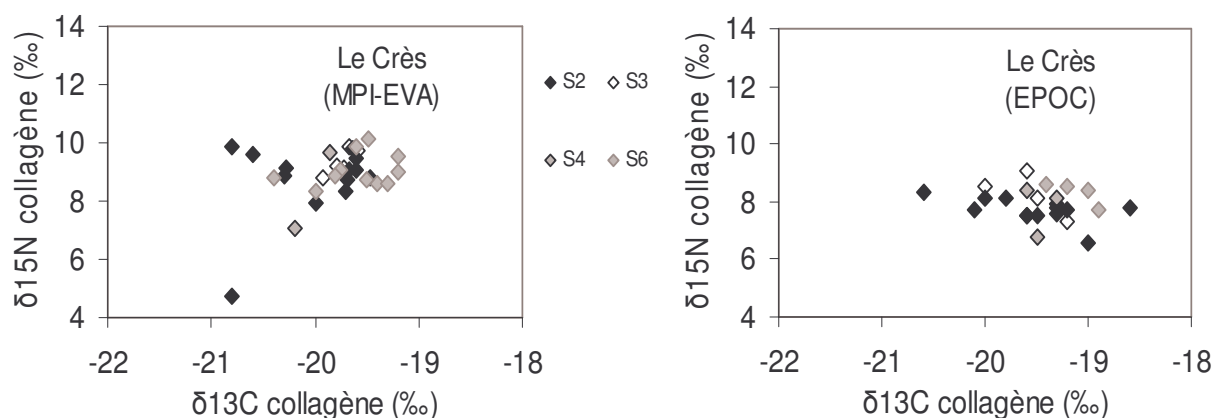


Fig. 79. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des individus humains du Crès répartis dans les différents secteurs du site.

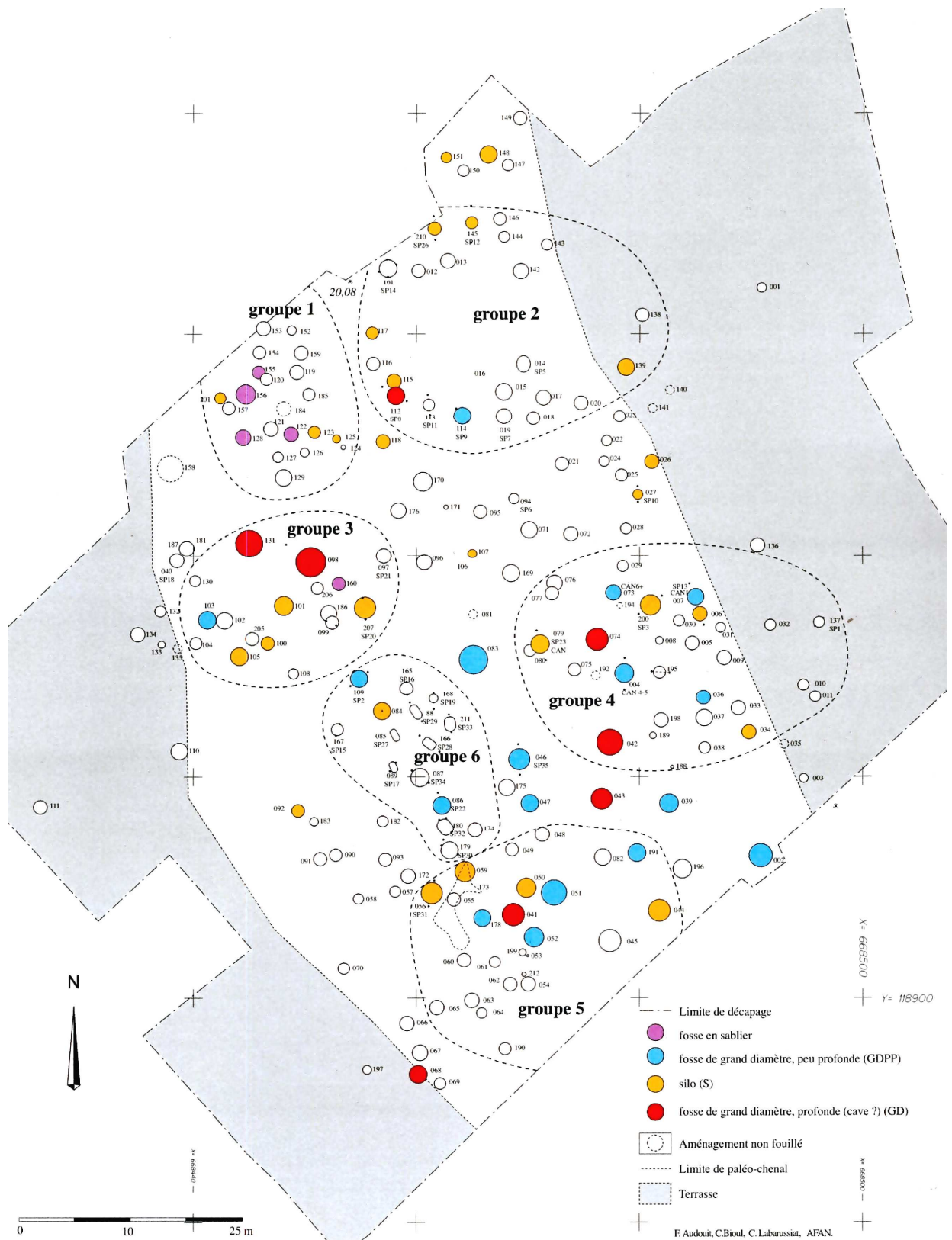


Fig. 80. Ensembles de structures et de sépultures sur le site du Crès (plan issu de Loison *et al.*, 2004).

Les résultats obtenus par les deux études (MPI-EVA et EPOC) rejoignent encore une fois les observations effectuées précédemment sur les types de fosses funéraires et le nombre d'individus inhumés par fosse. Ce troisième volet de lecture met en évidence la particularité de certains individus du Crès, ceux inhumés seuls, dans des fosses funéraires de grand diamètre, oblongues ou simples et plus particulièrement du secteur 6 du site (Fig. 80). Ces individus possèdent en effet, les valeurs isotopiques du carbone les plus élevées et celles de l'azote les plus faibles. Par ailleurs, il est possible que ce secteur soit le plus ancien du site (Loison *et al.*, 2004). Compte tenu du manque d'information sur la chronologie des inhumations sur le site, il est difficile pour le moment de discuter l'existence ou non de choix alimentaires au cours du fonctionnement du site, puisque plusieurs périodes peuvent être représentées dans chacun de ces ensembles.

Autres éléments de pratique funéraire : meules, parures et position du corps

La position des corps dans les sépultures n'est pas homogène sur le site du Crès. On observe des défunts inhumés sur le côté, droit ou gauche et des individus dont le corps est en extension, sur le dos ou bien sur le ventre. Par ailleurs, la présence de mobilier ainsi que sa nature sont diverses. En effet, la plupart des inhumations sont accompagnées de pièces lithiques et souvent de céramiques (Loison *et al.*, 2004). Toutefois, certaines inhumations comportent d'autres éléments tels que des armatures de flèches ou des objets de parure et plus exceptionnellement des meules ou molettes (*ibid.*) (Tab.). Ainsi, nous avons choisi de comparer les données isotopiques des individus de ce site en fonction de la présence de ce type de mobilier (autre que les éléments lithiques et céramiques classiques et récurrents dans les tombes).

Sujets	Analyses MPI- EVA	Analyses EPOC	Eléments de coquilles	Eléments lithiques
Homme 9	X	X	Valve de moule	Pièces lithiques
Immature 19	X	X	Pendentif avec cardium et valve d'huitre	
Femme 22	X	X	Valve de moule	Meule dormante et molette
Homme 29	X	X	Pendeloque en coquillage	Pointe de flèche vers le thorax
Femme 30	X	-		Armature de flèche ; une molette
Homme 31	-	X	Valve de moule	
Adulte 32	X	-		Mortier
Immature 33	X	-		Armature de flèche ; armature géométrique ; dalette en quartzite (molette ?) ; perle en callaïs

Tab. 50. Détail des éléments mobiliers particuliers (éléments de coquilles et pièces lithiques) associés aux défunts sur le site du Crès (étude réalisée par Loison *et al.*, 2004).

MPI-EVA. La comparaison des valeurs isotopiques des individus en fonction de leur position sur le site du Crès révèle des différences significatives, uniquement en ce qui concerne le $\delta^{13}\text{C}$ (annexe 31). En effet, les sujets dont les corps étaient en extension dans la sépulture ont un $\delta^{13}\text{C}$ du collagène osseux plus faibles (-19,9 ‰ ; n = 18) en moyenne que ceux dont le corps était en position replié sur le côté (-19,6 ‰ ; n = 14). De plus, la comparaison des valeurs isotopiques, entre les individus inhumés avec du mobilier particulier, tels que des fragments de meules et/ou des éléments de parure en coquillage (Tab.), et ceux inhumés sans mobilier particulier associé, ne révèle aucune différence significative (annexe 31). Cette remarque a par ailleurs déjà été évoquée pour d'autres sites du Néolithique moyen en Europe (e.g. Dürrwächter *et al.*, 2006). Signalons tout de même que sur le site du Crès deux d'individus (19 et 29) étaient inhumés avec des pendeloques ; des $\delta^{15}\text{N}$ parmi les plus élevés (9,9 ‰ et 10,1 ‰ respectivement) des individus du site ont été enregistré dans le collagène de ces sujets.

EPOC. La comparaison des valeurs isotopiques du collagène des individus en fonction de leur position souligne une différence significative au niveau du $\delta^{15}\text{N}$ (annexe 31). Les individus dont le corps était en position fléchie sur le côté ont effectivement un $\delta^{15}\text{N}$ (8,3 ‰ ; n = 11) en moyenne plus élevé que ceux dont le corps était en extension dans la sépulture (7,8 ‰ ; n = 12). De plus, la présence d'un mobilier particulier (éléments de mouture, armature de flèche) ne révèle aucune différence isotopique entre les individus, excepté en ce qui concerne les éléments en coquilles de mollusques marins (e.g. Fig. 69). Dans ce cas précis, les sujets dont le mobilier funéraire se compose entre autres de restes de coquillages possèdent un $\delta^{13}\text{C}$ plus élevé (-19,0 ‰ ; n = 5) en moyenne que les autres individus du Crès (-19,6 ‰ ; n = 25). Est-il possible de mettre en relation ce résultat avec une consommation, de temps à autres, de ressources marines par les premiers sujets ? La consommation de ressources marines entraîne effectivement une augmentation du $\delta^{13}\text{C}$ mais également du $\delta^{15}\text{N}$ (cf. chap. II § A-3 et § A-4). Toutefois, le $\delta^{15}\text{N}$ moyen des ces individus (dont l'élément de coquille est associé), n'est pas plus élevé que celui du reste de la population ; l'hypothèse d'une consommation de ressources marines est par conséquent difficile à soutenir.

Une fois de plus, on remarque que les résultats de cette analyse permettent de distinguer une partie de la population du Crès. Les individus inhumés en extension (décubitus ventral ou dorsal) ont des valeurs isotopiques distinctes du reste de la population. Les résultats des deux études (MPI-EVA et EPOC) ne vont pas dans le même sens (en terme de significativité des résultats), ce qui rejoint par ailleurs les observations réalisées lors de la comparaison méthodologique⁷⁷ (cf. Chap. II § F-2-b.). Cependant, l'interprétation des résultats de ces deux études suivent le même schéma que les analyses présentées précédemment, à savoir que les sujets inhumés dans en sépulture plurielle de type fosse-silo (SR) ou fosse profonde à petit diamètre sont tous inhumés en décubitus et se différencient des autres sujets du Crès par des $\delta^{13}\text{C}$ en moyenne plus faibles (d'après l'étude MPI-EVA) et des $\delta^{15}\text{N}$ en moyenne plus élevés (d'après l'étude EPOC) (Fig. 81). De plus, aucun de ces sujets ne possède de pendeloques ou de restes de coquillages associés. Toutefois, la question du mobilier nécessitera d'être revue puisque l'étude du matériel est en cours sur le site du Crès.

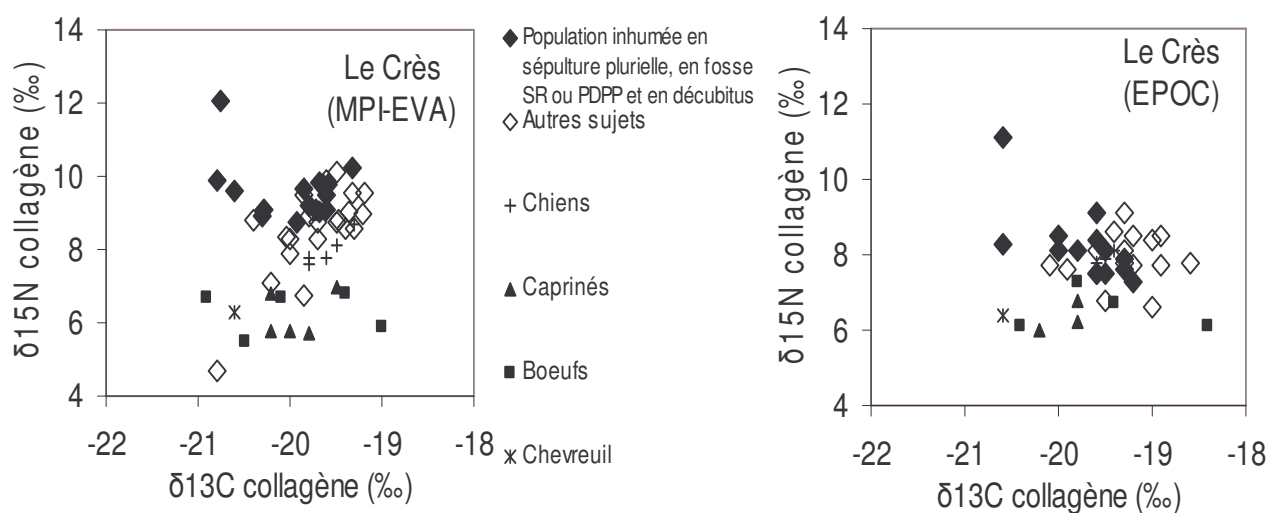


Fig. 81. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des individus humains du Crès répartis en deux groupes définis par des critères archéologiques.

⁷⁷ La comparaison a notamment montré que les $\delta^{13}\text{C}$ sont souvent plus élevés et les $\delta^{15}\text{N}$ souvent plus faibles avec la chaîne opératoire du laboratoire EPOC qu'avec celle du laboratoire MPI-EVA.

d. Synthèse de l'étude du Crès

Dans l'ensemble, les ossements humains et animaux du site du Crès contiennent une matière organique suffisamment bien conservée pour permettre une étude isotopique. Plusieurs observations ont été faites au sein de cette population :

- dans l'ensemble, la population humaine a probablement eu une alimentation protéinique mixte (végétale et animale) dont la part carnée varie en fonction des individus.
- Concernant les analyses **MPI-EVA** : plusieurs individus se distinguent par des teneurs particulières en azote-15. Parmi eux des femmes présentent des $\delta^{15}\text{N}$ très faibles et un homme ainsi qu'un enfant des $\delta^{15}\text{N}$ particulièrement élevés. La consommation de ressources dulcicoles semble une hypothèse pertinente pour expliquer les hauts $\delta^{15}\text{N}$. En revanche en ce qui concerne les individus féminins, outre le fait qu'une alimentation pauvre en protéines animales soit probable, il n'est pas exclu que (1) une certaine proportion de légumineuse soit présente dans le régime alimentaire, mais il est vrai que l'étude archéobotanique ne corrobore pas cette pratique, même si la culture de légumineuses, telles que les vesces, est attestée à cette période (Bouby et Léa, 2006) et que (2) des facteurs physiologiques particuliers influencent les valeurs isotopiques, notamment pour l'individu 26.
- Concernant les analyses **EPOC** : dans ce cas également, des individus se distinguent par des teneurs particulières en azote-15 et lorsqu'il s'agit des mêmes individus (13 et 10b) que ceux étudiés dans l'autre laboratoire, les hypothèses proposées sont identiques (*vide supra*).

La question du statut social des individus est ici très intéressante ; peut-on penser que les individus ayant peut-être consommés des ressources dulcicoles aient un rôle particulier dans cette société ? L'hypothèse d'une origine géographique différente est également plausible, notamment si l'on prend en compte les paramètres archéologiques, susceptibles de différencier deux groupes d'individus dans la population du Crès. Cette voie de recherche pourra être plus amplement étayée grâce à l'étude d'autres sites de la région. Ces questionnements et hypothèses sont également valables pour les individus féminins atypiques.

4 - Coste Rouge (Beaufort, Hérault, France)

a. Contexte archéologique

a.1 Le site archéologique

La tombe de Coste Rouge se situe à Beaufort (Hérault ; Fig. 81). Elle a été découverte en 2000, puis fouillée en 2001. L'étude a fait l'objet d'un D.F.S. (Vaquer *et al.*, 2001) et une publication principale est en cours (Vaquer *et al.*, sous presse), constituant la source des informations archéologiques et anthropologiques qui sont évoquées dans cette partie.



Fig. 81. Localisation du site archéologique de Coste Rouge, Beaufort, Hérault, France.

a.2 Études archéologiques et environnementales réalisées

L'individu retrouvé dans cette tombe est un sujet immature, inhumé avec des objets de parure, notamment des dentales et des pendeloques sur plaquettes osseuses, ainsi que des objets lithiques telles que des pointes de flèches et des lamelles en silex. Des restes de faune associés à la sépulture représentent diverses espèces : bovins, caprinés, ours brun et canidés, qui d'après l'analyse archéozoologique (effectuée par A. Tresset, UMR 5197) constitueraient un dépôt symbolique particulier (mobilier et offrandes liés à la sphère animale domestique et sauvage) d'accompagnement du défunt (Vaquer *et al.*, sous presse). Enfin, il est important de souligner que les auteurs de l'étude archéo-anthropologique de ce site suggèrent que l'enfant appartienne à un statut social élevé. Quelques graines de céréales ont également été retrouvées dans le remplissage de la tombe, mais ne elles constituent pas un dépôt intentionnel (*ibid.*).

a.3 Études anthropologiques réalisées

Cette sépulture est délimitée par un coffrage lithique, daté de la fin du Néolithique moyen (première moitié ou milieu du IV^e millénaire av. J.-C.), comprenant les restes, assez partiels, d'un enfant inhumé en décubitus dorsal (étude anthropologique réalisée par H. Duday et S. Hérouin, UMR 5199, Bordeaux) (Fig. 82). L'âge au décès a été estimé entre 5 et 8 ans à partir de la dentition et entre 3 et 7 ans à partir de la longueur des os longs (Vaquer *et al.*, sous presse).



Fig. 82. Sépulture de Coste Rouge (cliché J. Vaquer)

b. Datations

Tout comme pour le site du Crès, une datation d'un humérus de l'enfant de Coste Rouge a été faite dans le cadre de l'ACR. Le résultat, parvenu en septembre 2006, indique que cet individu est daté de la fin du Chasséen : 4743 ± 46 BP (soit 3634-3384 av. J.-C. cal. à 2σ ; Erl 9626⁷⁸) (Vaquer *et al.*, sous presse).

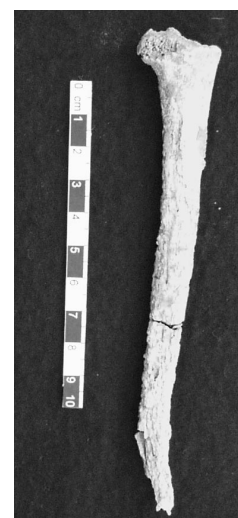


Fig. 83. Fémur de l'enfant de Coste Rouge échantillonné pour l'analyse isotopique et la datation radiocarbone (cliché le Bras-Goude).

⁷⁸ La calibration des datations est réalisée d'après IntCal98 (Stuiver *et al.*, 1998).

c. Étude isotopique

c.1 Échantillonnage

Les ossements sont très mal conservés en raison de la nature acide du terrain d'enfouissement. C'est pourquoi, en laboratoire les restes humains ont subi une consolidation au « Primal⁷⁹ ». L'échantillon a été prélevé sur la partie diaphysaire de l'humérus gauche (cet os étant le moins abîmé par la taphonomie du terrain d'enfouissement ; Fig. 83). Le Primal étant une colle acrylique soluble à l'eau, l'échantillon est nettoyé par des bains d'eau distillée afin d'enlever au maximum les agents de consolidation ; les éventuels résidus sont éliminés lors du protocole d'extraction du collagène par les solutions chimiques diluées.

c.2 Conservation de la matière organique et résultats isotopiques

Le collagène de cet individu a été extrait avec deux méthodes différentes et analysé dans deux laboratoires. Les proportions de carbone, d'azote et le C/N des collagènes extraits dans les laboratoires (EPOC, MPI-EVA) respectent les critères de validité ($\% C \geq 30$, $\% N \geq 10$, $2,9 \leq C/N \leq 3,6$) (Fig. 84 ; Tab. 51).

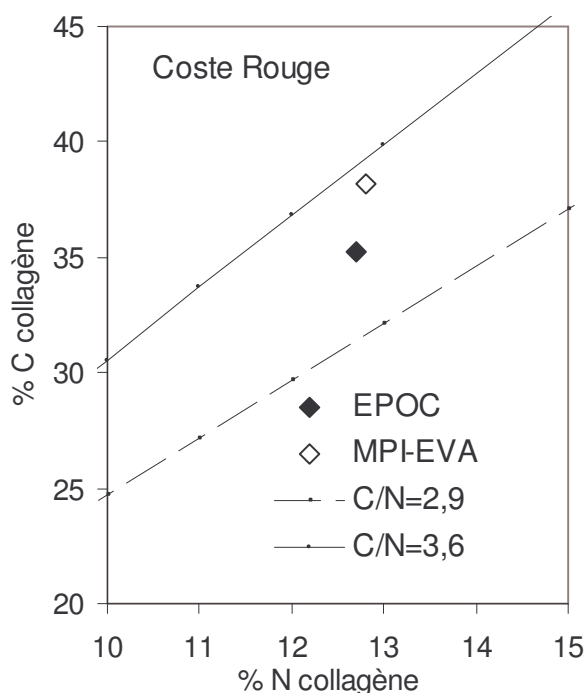


Fig. 84. Teneur en carbone et en azote du collagène de l'échantillon osseux de l'enfant de Coste Rouge (analyses MPI-EVA et EPOC).

⁷⁹ Colle composée d'environ 33-37 % d'acrylique ((CH₂)₂-CO₂) (liant synthétique), de 0,1 % d'ammoniac et d'environ 63-67 % d'eau.

	% C	% N	C/N	Rendement (mg/g)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
Enfant de Coste Rouge (analyses MPI-EVA)	38,2	12,8	3,5	9,6	-19,3	11,4
Enfant de Coste Rouge (analyses EPOC)	35,2	12,7	3,2	42,3	-19,0	10,8

Tab. 51 $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, % C, % N et C/N du collagène du reste osseux de l'enfant du site de Coste Rouge.

L'absence d'analyse sur des restes fauniques dans ce site est un biais pour l'interprétation, mais compte tenu de l'importance du dépôt funéraire (dits synecdoques) (Vaquer *et al.*, sous presse), il n'est pas possible d'échantillonner les quelques fragments de faune. Il n'est cependant pas incohérent de proposer une interprétation par comparaison avec d'autres sites archéologiques du Chasséen étudiés, et notamment le site du Crès qui est géographiquement proche. Les résultats des analyses isotopiques obtenus dans les différents laboratoires sont proches. Par conséquent, une analyse commune des données est proposée.

L'enfant de Coste Rouge possède des valeurs isotopiques du collagène plus élevées que les individus humains du Crès, principalement pour l'azote. Sa position dans le réseau trophique est élevée (Fig. 86) ; le $\delta^{15}\text{N}$ est supérieur d'environ 5,0 ‰ par rapport à la faune herbivore du Crès et de 3,4 ‰ par rapport à l'ensemble des canidés de ce site ; le $\delta^{13}\text{C}$ est supérieur d'environ 0,6 ‰ par rapport à l'ensemble des animaux herbivores et de 0,3 ‰ par rapport aux canidés. Ces résultats indiquent que les protéines de son alimentation sont très majoritairement animales. Un régime alimentaire strictement carnivore est peu probable, excepté dans le cas de l'allaitement. Compte tenu de l'estimation de l'âge de cet enfant, la présence de traces éventuelles d'un régime lacté dans le collagène de l'os échantillonné ne semble pas une hypothèse prioritaire. Sachant qu'au cours de la croissance longitudinale des os, le renouvellement osseux de la région anatomique comprise entre les épiphyses et les diaphyses, est rapide (Scheuer et Black, 2000), il paraît plus probable que notre échantillon ait enregistré la signature isotopique d'un régime alimentaire récent. Toutefois, cette hypothèse n'est pas totalement à exclure en raison du manque de connaissance actuelle sur la vitesse du renouvellement des protéines osseuses humaines. Les études de Balasse (1999) sur des taurillons actuels indiquent que 8 mois après le sevrage, la signature isotopique de l'os mandibulaire est encore marquée par le régime lactée pré-sevrage. Les analyses réalisées par Fizet (1992), sur des métapodes de chevaux ont par ailleurs mis en évidence l'importance de l'allométrie de croissance dans l'enregistrement de la signature isotopique du régime alimentaire. Ce travail signale notamment que pour l'espèce considérée, les épiphyses enregistrent plus rapidement le nouveau régime alimentaire post-sevrage que les diaphyses. Ajoutons également qu'aucune faune du site n'a pu être analysée et cette lacune constitue un biais important dans l'interprétation. Quoiqu'il en soit, les valeurs isotopiques de l'enfant de Coste Rouge sont bien supérieures à celles des différents animaux herbivores de tous les sites néolithiques moyens étudiés ici (différence allant de 0,5 ‰ à 1,5 ‰ pour le $\delta^{13}\text{C}$ et de 4,4 ‰ à 5,1 ‰ pour le $\delta^{15}\text{N}$). La consommation de ressources marines semble peu probable

puisque le $\delta^{13}\text{C}$ de l'enfant n'est pas très élevé. La consommation de ressources dulcicoles est une hypothèse à ne pas écarter également, même si le $\delta^{13}\text{C}$ de l'enfant n'est pas très faible. Aucun reste de poissons d'eau douce ou d'autres ressources dulcicoles n'a été retrouvé sur ce site, mais le contexte étudié ici ne rend pas précisément compte des modes de vie. La consommation importante de ressources omnivores terrestres est également possible mais nous n'avons pas beaucoup d'éléments de discussion puisque les suinés étudiés sur les autres sites ont des valeurs isotopiques qui se rapprochent de celles des herbivores. Quant à la consommation de carnivores terrestres, là aussi il est difficile de proposer une hypothèse, puisque généralement les animaux carnivores majoritairement retrouvés sur les sites du Néolithique moyen sont des chiens. Le contexte sépulcral qui leur est parfois accordé à cette période et la quantité plutôt peu importante d'ossements retrouvés dans couches archéologiques par rapport aux autres espèces terrestres nous donne à penser que ces animaux n'étaient pas de consommation courante. A la suite de l'ensemble de ces observations, nous pouvons suggérer, pour le moment, que cet individu ait eu une consommation très importante de protéines issues d'animaux vivant en milieu terrestre. N'oublions pas également que l'hypothèse proposée pour les enfants du Crès peut également être valable pour l'enfant de Coste Rouge, à savoir un enrichissement en azote-15 de l'os en formation, susceptible d'être corrélé à une forte activité de croissance entre 5 et 9 ans (Herrscher, 2003 ; Herrscher et Valentin, 2005).

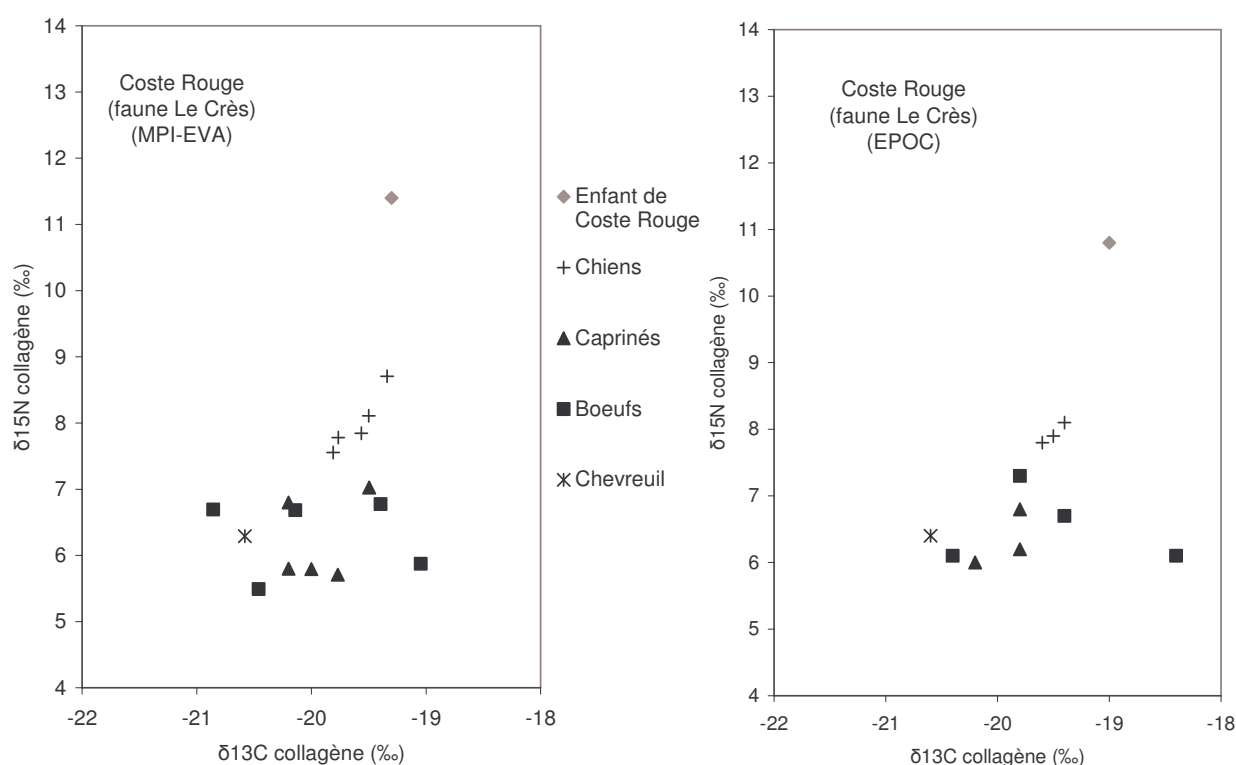


Fig. 85. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du collagène du reste osseux de l'enfant de Coste Rouge (analyses MPI-EVA et EPOC).

d. Synthèse de l'étude de Coste Rouge

Malgré la mauvaise préservation des ossements de l'enfant de Coste Rouge, du collagène de bonne qualité a pu être extrait et analysé. Les résultats isotopiques obtenus ont été replacés parmi ceux des animaux du site du Crès car aucun reste osseux de faune n'a pu être analysé sur le site de Coste Rouge. Les résultats de cette étude sont très intéressants car ils soulignent la particularité du régime alimentaire de cet enfant :

- une très grande partie des protéines consommées sont issues des ressources animales, telles que la viande d'herbivore et/ou d'omnivore, voire de carnivore ;
- ces valeurs isotopiques sont proches de certains individus du site du Crès, pour lesquels le même type d'hypothèse est proposé.

Ici également on peut s'interroger sur le statut de cet enfant qui était inhumé avec du mobilier dans un dispositif particulier. Ce type de relation pourrait conforter les hypothèses des chercheurs, pour lesquels la présence de tombe en coffre refléterait un statut social élevé lié à une économie principalement fondée sur l'élevage (comm. pers. J. Vaquer). Cette hypothèse doit continuer à faire l'objet de plus amples études afin d'être appuyée ou réfutée, et dans cet objectif nous avons contacté le SRA Languedoc-Roussillon pour obtenir l'autorisation de prélever et d'analyser d'autres individus du Néolithique moyen inhumés dans des tombes en ciste de la région.

* * *

Chapitre V - Analyse comparative et discussion

A- Synthèse sur l'état de conservation et sur l'analyse comparative des données isotopiques

1- Etat de conservation général de la matière organique résiduelle

a. Aux phases anciennes du Néolithique

Sur l'ensemble des sites archéologiques rapportés aux phases anciennes du Néolithique, 94 échantillons ont pu être analysés. Les proportions de carbone et d'azote présentes dans le collagène des ossements s'étendent de 9,4 % à 49,2 % et de 3,2 % à 16,8 % respectivement (Tab.). De manière générale on peut remarquer que le rendement d'extraction n'est pas très élevé : 37,4 mg/g en moyenne, probablement en raison de l'utilisation d'ultrafiltres lors de l'extraction du collagène (Le Huray et Schutkowski, 2005). En effet, l'emploi de ces derniers permet de séparer le collagène solubilisé en deux parties dont l'une, contenant les molécules les moins bien conservées, sera éliminée (*cf.* annexe 2). Ainsi, c'est la quantité de collagène restante qui est lyophilisée et pesée.

	% C	% N	C/N	Rendement d'extraction (mg/g)
Restes humains (n = 36)	31,7	11,3	3,3	30,9
Faune (n = 58)	36,9	13,3	3,2	43,9
Moyenne (n = 94)	34,3	12,3	3,3	37,4
Min	9,4	3,2	3,0	1,1
Max.	49,2	16,8	3,9	171,8

Tab. 52. État de conservation du collagène des restes humains et animaux de des phases anciennes du Néolithique.

b. Au Montbolo et Chasséen

	% C	% N	C/N	Rendement d'extraction (mg/g)
MPI-EVA				
Restes humains (n = 49)	34,4	12,1	3,3	10,2
Faune (n = 46)	35,5	12,4	3,3	15,9
Moyenne (n = 95)	35,0	12,3	3,3	26,1
Min.	19,1	6,2	3,0	1,3
Max.	49,8	16,0	3,8	64,5
EPOC				
Restes humains (n = 52)	32,9	12,1	3,2	45,8
Faune (n = 49)	29,7	10,7	3,2	47,6
Moyenne (n = 101)	31,3	11,4	3,2	46,7
Min.	5,0	1,4	2,6	7,9
Max.	43,3	15,8	4,1	161,3

Tab. 53. État de conservation du collagène des restes humains et animaux du Néolithique moyen, Montbolo et Chasséen (analyses MPI-EVA et EPOC).

MPI-EVA. Sur les 95 échantillons de collagène qui ont pu être analysés pour cette période, 88 (soit 92,6 %) ont pu donner du collagène suffisamment bien conservé pour fournir des analyses isotopiques interprétables. Les proportions de carbone dans le collagène s'étendent de 19,1 % à 49,8 % et celles d'azote de 6,2 % à 16,0 % (Tab.). La qualité de ce collagène est correcte car les rapports C/N sont généralement compris entre 2,9 et 3,6 mais les rendements d'extraction sont peu élevés, en raison de l'utilisation des ultrafiltres lors de l'extraction du collagène (cf. annexe 2).

EPOC. Sur les 101 échantillons de collagène qui ont pu être analysés pour cette période, 70 (soit 69,3 %) ont pu donner du collagène suffisamment bien conservé pour fournir des analyses isotopiques qui sont incluses dans la discussion. Les proportions de carbone et d'azote du collagène extrait s'étendent respectivement de 5,0 % à 43,3 % et de 1,4 % à 15,8 % (Tab.). Pour la majeure partie des échantillons, la qualité du collagène extrait est correcte ; les rapports C/N sont généralement compris entre 2,9 et 3,6. Les rendements d'extraction sont plus élevés avec cette méthode d'extraction puisqu' aucune ultrafiltration n'est réalisée. En revanche, les proportions moyennes de carbone et d'azote sont plus faibles que celles obtenues dans l'autre laboratoire (MPI-EVA), en raison de l'absence de la sélection des molécules les mieux préservées de l'échantillon.

c. Sur l'ensemble du Néolithique

Afin de pouvoir réaliser une étude cohérente et homogène, nous avons choisi d'utiliser, pour toutes les analyses qui concernent l'ensemble du Néolithique, les résultats du laboratoire dans lequel le plus grand nombre d'échantillons de différentes périodes a pu être étudié, c'est-à-dire les résultats obtenus sur le collagène extrait au laboratoire MPI-EVA (cf. chap. II § F-3).

L'état de conservation de la matière organique résiduelle des échantillons osseux est quelque peu différente selon les périodes étudiées. En effet, les rendements d'extractions du collagène sont plus importants sur les échantillons des phases anciennes du Néolithique que sur ceux du Néolithique moyen (Tab. ; Tab.). Quantitativement, la matière organique est mieux

préservée au Néolithique ancien. Ce résultat pourrait être dû aux types de sites archéologiques : grottes et abris pour les périodes anciennes et sites de plein air principalement pour le Néolithique moyen, dans lesquels la taphonomie est différente, la diagenèse étant probablement plus importante dans les sites de plein air. En revanche, la qualité du collagène extrait (% C, % N et C/N) est équivalente pour les deux périodes ; l'extraction du collagène permettant de sélectionner les molécules les mieux préservées quelle que soit la quantité de collagène disponible dans l'échantillon.

2- Analyse comparative des données isotopiques

a. Zones géographiques et culturelles : rappel et avertissement

Onze sites archéologiques, géographiquement situés dans le nord-ouest de la Méditerranée et chronologiquement échelonnés sur les premiers millénaires du Néolithique, composent le corpus de ce travail (Fig. 86). Les périodes étudiées sont le Néolithique ancien et le Néolithique moyen, ce dernier regroupant plusieurs phases culturelles : le Néolithique de Fontbrégoua, la culture VBQ et le Chasséen méridional dont le Chasséen ancien et le Montbolo (Fig. 87). Nous avons remarqué au cours de l'étude qu'il existe au sein de la population humaine de chaque site une variabilité des valeurs isotopiques du collagène, plus ou moins importante. Notre travail doit par conséquent s'étendre à l'ensemble des périodes chronologiques mentionnées avec pour objectif de mettre en évidence l'évolution éventuelle des choix de subsistance, leur mode de changement et les facteurs qui peuvent les déterminer. **Toutefois il est important de rappeler que cette étude est soumise à une dichotomie à la fois géographique (Sud-Est vs Languedoc-Pyrénées) et sitologique (sites de plein air vs sites de grotte) qui nous amène à rester prudente sur les hypothèses proposées.**

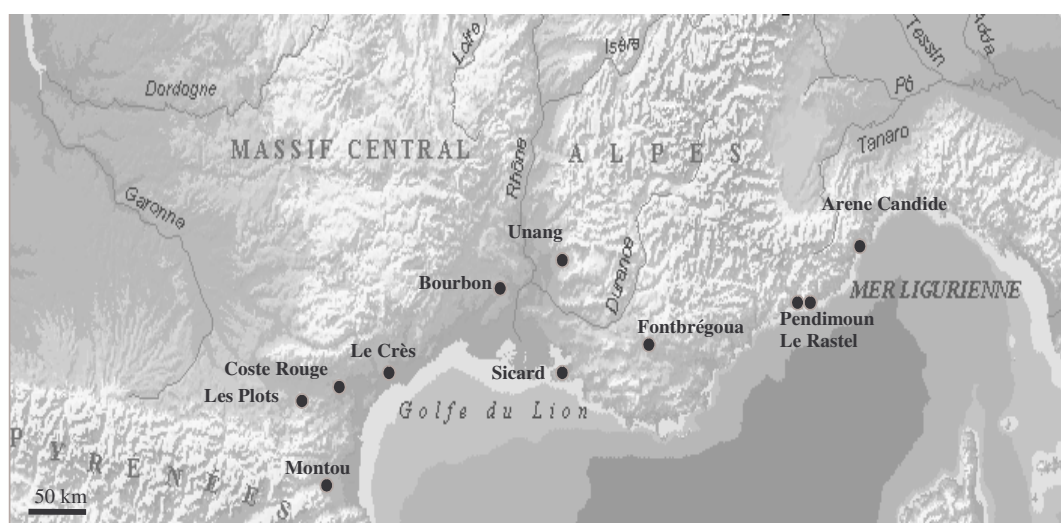


Fig. 86. Localisation de l'ensemble des sites archéologiques étudiés.

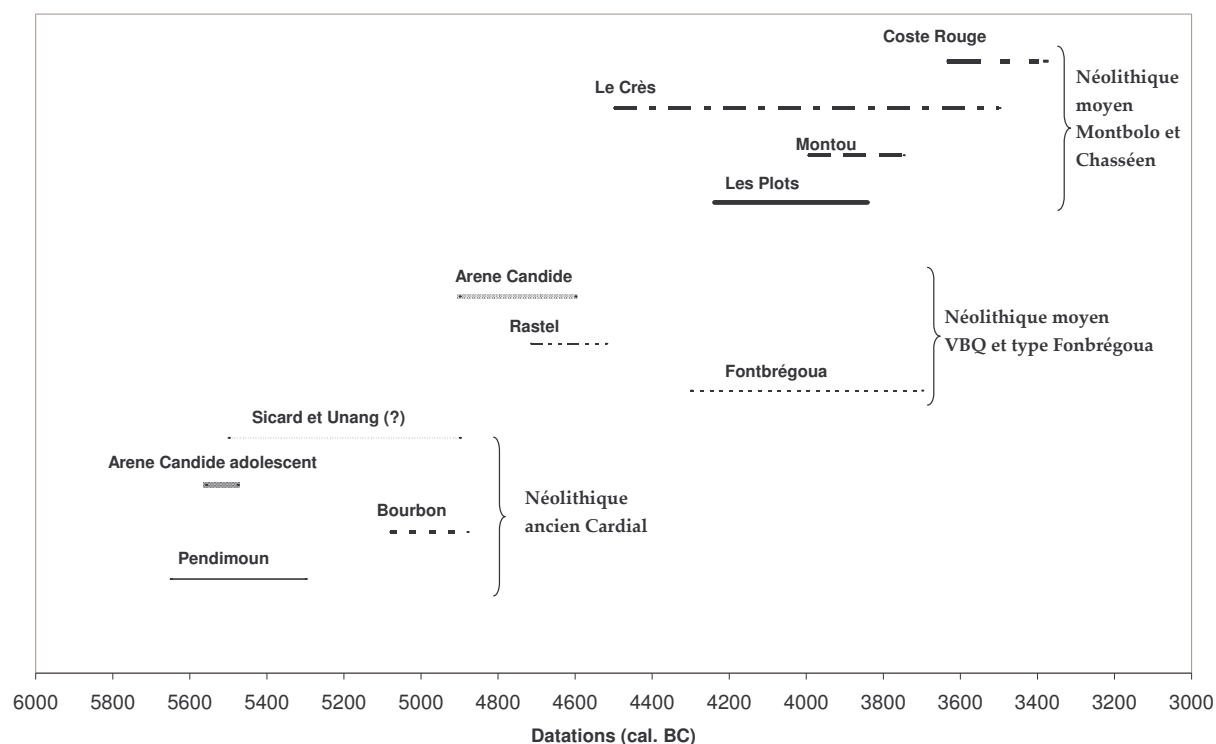


Fig. 87. Répartition chronologique des sites néolithiques étudiés. Certains sites comportent des incertitudes chronologiques (?).

b. Les phases anciennes du Néolithique

b.1 La faune

La comparaison des données entre les sites, pour chaque période mais également sur l'ensemble de la chronologie étudiée, est indispensable pour répondre à nos objectifs de recherche. Nous avons déjà précisé, notamment au cours de la description méthodologique, que l'analyse conjointe de la faune sur chaque site est nécessaire si l'on souhaite discuter du régime alimentaire d'une population, mais également de son environnement (*cf.* chap. II § C-5).

La comparaison des valeurs isotopiques du carbone et de l'azote du collagène des différents taxons analysés (au niveau inter-spécifique) sur les sites des phases anciennes du Néolithique indique qu'il n'existe pas de différence significative (annexe 32) entre les sites, selon les espèces considérées (Tab. 53 ; Fig. 88). Les $\delta^{13}\text{C}$ de chaque espèce de faune sont très homogènes, à la fois à l'intérieur des sites mais également entre les sites. Ces valeurs isotopiques du carbone sont tout à fait représentatives de la fréquentation d'un milieu terrestre tempéré dont les végétaux ont une photosynthèse de type C_3 (DeNiro et Epstein, 1978), ce qui signifie que des ressources végétales d'origine marine et terrestre de type C_4 (par ailleurs non attestées dans les sites) ne composent en aucun cas l'alimentation des animaux. Les $\delta^{15}\text{N}$ de chaque espèce sont

homogènes chez les caprinés (de 4,2 ‰ à 5,0 ‰), mais variable chez les bovins (de 4,4 ‰ à 6,5 ‰), chez les cervidés (de 3,1 ‰ à 5,1 ‰) et plus encore chez les suinés (de 1,8 ‰ à 6,1 ‰) (Fig. 89). Ces résultats soulignent qu'aux phases anciennes du Néolithique, les caprinés sont susceptibles d'avoir fréquenté des milieux isotopiquement proches ou d'avoir été nourris par l'Homme de manière identique, contrairement aux bovins et aux autres espèces (Tab. ; Fig. 88). Chez les suinés, l'amplitude de $\delta^{15}\text{N}$ observée reflète le régime omnivore de cette espèce et la consommation de protéines animales par ces animaux. Toutefois, on remarquera que dans l'ensemble, les valeurs isotopiques des suinés ne sont pas significativement différentes de celles des herbivores (annexe 35), ce qui suggère que leur régime alimentaire est relativement proche. Chez les herbivores sauvages, l'amplitude de $\delta^{15}\text{N}$ signale la fréquentation de milieu probablement géologiquement différents et/ou la consommation plus ou moins importante de légumineuse selon les individus. Enfin, chez les bovins, même si elle n'est pas significative (mais l'effectif étudié est faible), une différence de $\delta^{15}\text{N}$ est observée entre les animaux du site de Pendimoun (dont les valeurs sont plus faibles) et ceux des autres sites, suggérant ainsi que leur alimentation est susceptible d'être distincte.

	$\delta^{13}\text{C}$				$\delta^{15}\text{N}$			
	Moyenne	Min	Max	$\Delta^{13}\text{C}$	Moyenne	Min	Max	$\Delta^{15}\text{N}$
<i>Bœufs</i>								
Pendimoun (n = 3)	-19,5	-19,8	-19,3	0,5	4,4	4,2	4,8	0,6
Pendimoun MPI-EVA (n = 2)	-20,1	-20,3	-19,8	0,5	4,4	3,8	5,0	1,2
Unang (n = 2)	-21,3	-21,4	-21,3	0,1	5,8	5,7	5,8	0,1
Fontbrégoua (n = 3)	-20,3	-21,1	-19,8	1,3	6,5	6,0	7,3	1,3
Baume Bourbon (n = 1)	-19,9	-	-	-	6,2	-	-	-
<i>Bos sp.</i>								
Unang (n = 1)	-20,1	-	-	-	6,0	-	-	-
Arene Candide (n = 2)	-19,9	-20,2	-19,6	0,6	4,8	4,6	4,9	0,3
<i>Caprinés (mouton-chèvre)</i>								
Pendimoun (n = 4)	-20,2	-20,9	-19,1	1,8	4,8	3,8	5,9	2,1
Pendimoun MPI-EVA (n = 2)	-20,9	-21,1	-20,7	0,4	4,0	3,9	4,1	0,2
Unang (n = 2)	-20,7	-20,8	-20,7	0,1	4,2	3,8	4,6	0,8
Fontbrégoua (n = 4)	-19,9	-20,1	-19,7	0,3	4,7	4,5	5,0	0,5
Baume Bourbon (n = 4)	-20,2	-20,6	-19,8	0,8	4,9	4,7	5,1	0,4
Arene Candide (n = 5)	-20,6	-21,3	-20,0	1,3	5,0	4,3	6,8	2,5
<i>Sus sp.</i>								
Pendimoun (n = 2)	-19,9	-20,1	-19,6	0,5	5,2	5,1	5,2	0,1
Pendimoun MPI-EVA (n = 3)	-20,1	-20,5	-19,7	0,8	6,0	5,3	6,8	1,5
Unang (n = 1)	-19,5	-	-	-	1,8	-	-	-
Fontbrégoua (n = 2)	-20,0	-20,0	-20,0	0,0	6,1	5,5	6,7	1,2
Arene Candide (n = 3)	-20,9	-21,5	-20,3	1,2	4,8	4,0	5,8	1,8
<i>Cervidés (cerf-chevreuil)</i>								
Pendimoun (n = 2)	-21,4	-21,4	-21,3	0,1	3,5	3,3	3,7	0,4
Pendimoun MPI-EVA (n = 2)	-21,7	-21,8	-21,5	0,3	3,2	2,6	3,8	0,8
Unang (n = 3)	-20,1	-20,1	-20,0	0,1	3,1	1,7	4,8	3,1
Fontbrégoua (n = 3)	-20,6	-20,8	-20,6	0,2	4,7	4,5	5,2	0,7
Baume Bourbon (n = 1)	-20,4	-	-	-	5,1	-	-	-
Arene Candide (n = 3)	-21,4	-22,4	-20,6	1,8	4,6	3,8	5,8	2,0

Tab. 54. Moyenne des valeurs isotopiques des différentes espèces animales présentes sur les sites des périodes anciennes du Néolithique.

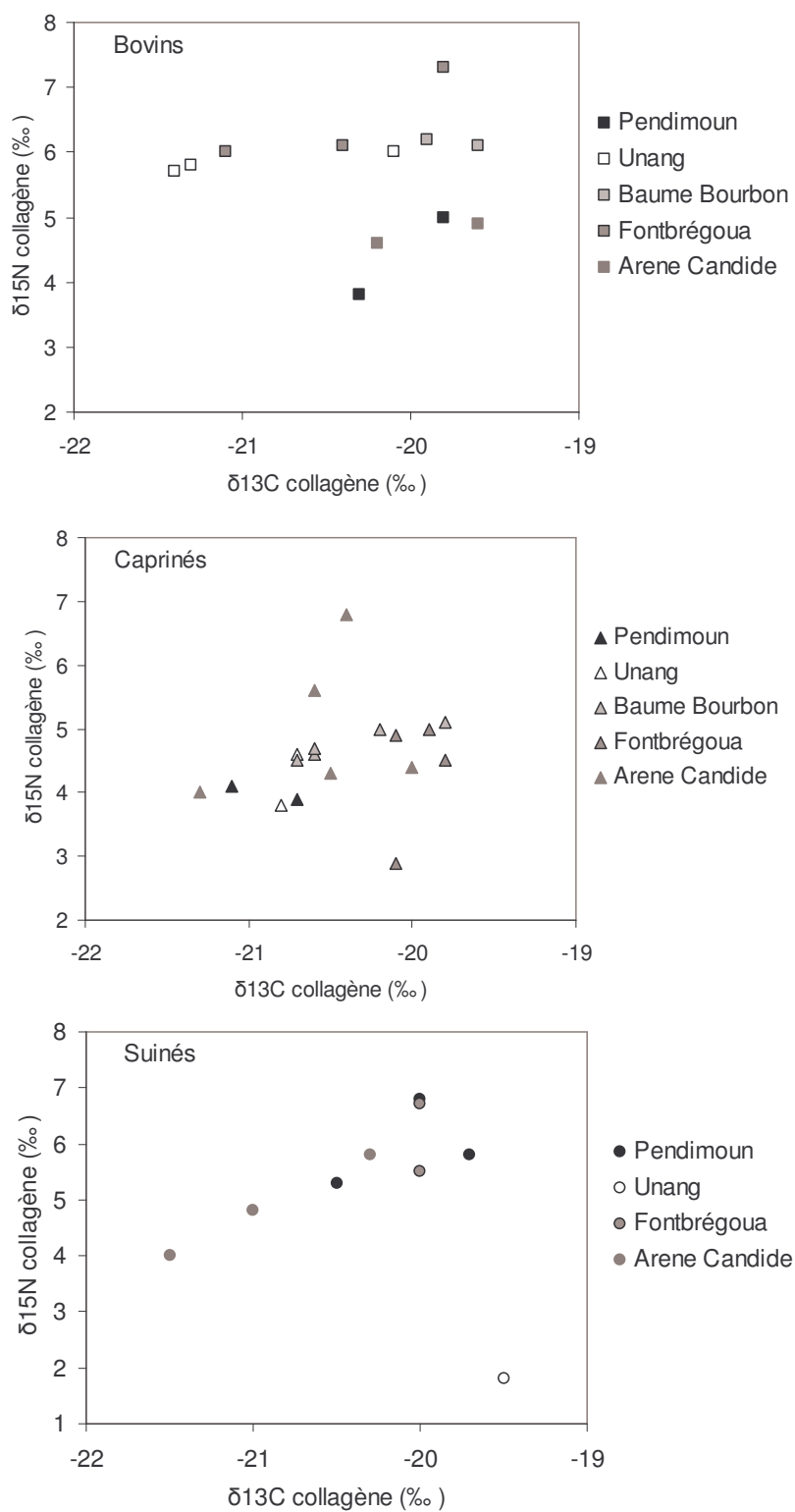


Fig. 88. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ de Bovins, caprinés et suinés des sites des phases anciennes du Néolithique.

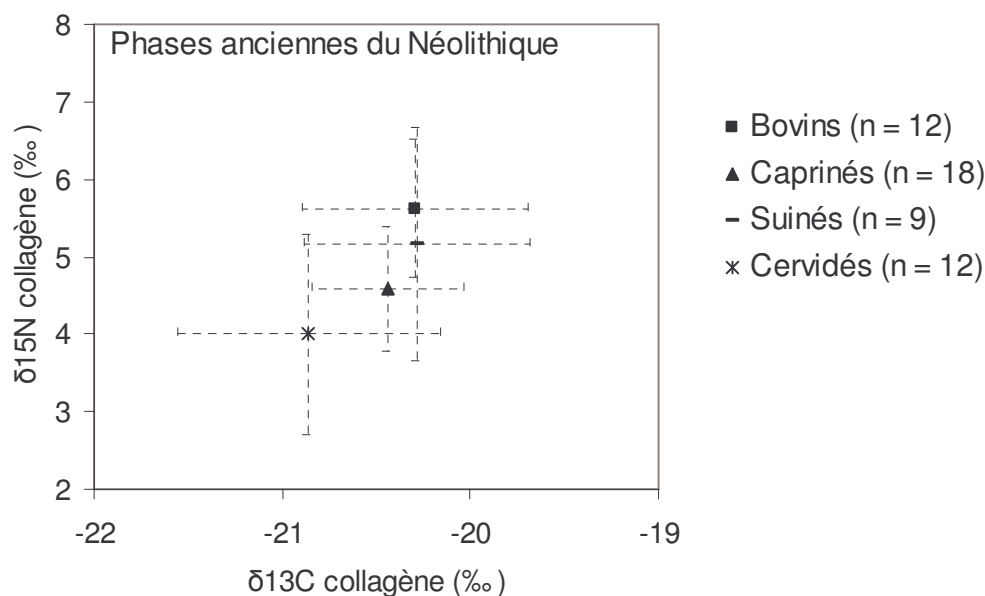


Fig. 89. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ et écart-type à $1\sigma^{80}$ des différentes espèces des sites des phases anciennes du Néolithique.

b.2 Les populations humaines

Les populations humaines des différents sites des phases anciennes du Néolithique ne présentent pas toutes des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ similaires (Tab.). On observe en effet des différences significatives, voire très significatives entre les $\delta^{15}\text{N}$ des hommes des Arene Candide et de Pendimoun comparés à ceux de la Baume Bourbon et de Fontbrégoua (annexe 36). Aux Arene Candide tout comme à Pendimoun les $\delta^{15}\text{N}$ enregistrés dans le collagène osseux des individus humains sont plus faibles (8,1 ‰ ; n = 8 aux Arene Candide et 7,8 ‰ ; n = 4 à Pendimoun) que ceux de la Baume Bourbon et de Fontbrégoua (9,9 ‰ ; n = 4 à la Baume Bourbon et 9,5 ‰ ; n = 9 à Fontbrégoua). Par ailleurs, lorsque sur le site des Arene Candide l'individu « atypique » 5BB est exclu de l'analyse (annexe 36 ; Tab.), on observe encore une fois une différence significative entre les $\delta^{15}\text{N}$ des individus de ce site et ceux de Fontbrégoua, mais également ceux du site de Pendimoun. Dans ce cas précis, les valeurs isotopiques de l'azote de la population humaine de Pendimoun sont plus faibles (de 1,1 ‰ en moyenne) que celles des Arene Candide.

Ces résultats suggèrent l'existence de choix alimentaires différents entre ces populations puisque la faune de ces sites ne possède pas de valeurs isotopiques significativement distinctes (cf. § 2-a.1). Les populations humaines de la Baume Bourbon, de Fontbrégoua et la majeure partie de la population des Arene Candide ont probablement consommé plus de protéines

⁸⁰ Compte tenu des faibles effectifs étudiés, il est plus pertinent de représenter les médianes et les percentiles, cependant par convention avec la littérature spécialisée actuelle nous avons représenté les moyennes et les écart-types à 1σ de façon à faciliter la lecture graphique. Ce système est également appliqué aux graphiques suivants.

animales et/ou plus de protéines issues d'animaux d'un niveau trophique supérieur (jeunes animaux non sevrés, petits carnivores) que les individus humains de Pendimoun. Par ailleurs, cette hypothèse peut également être proposée au regard des différences observées entre les populations de Fontbrégoua et des Arene Candide. Cette étude suggère également une gestion du cheptel domestique différente entre ces populations et peut-être l'existence d'une production laitière (attestée par l'étude archéozoologique principalement aux Arene Candide), et la consommation de jeunes animaux, plus importante sur les sites de la Baume Bourbon et de Fontbrégoua. L'absence d'étude archéozoologique à la Baume Bourbon et l'étude en cours de nouvelles données à Fontbrégoua (comm. pers. D. Helmer), ne permettent pas pour le moment d'aller plus loin dans cette hypothèse. Enfin, l'absence de différences de $\delta^{13}\text{C}$ entre les populations humaines permet d'évoquer la participation des ressources d'eau douce aux protéines de l'alimentation des individus de la Baume Bourbon et plus particulièrement de Fontbrégoua, ; hypothèse appuyée par la présence d'un certain nombre de restes de tortue cistude sur ce dernier site (cf. chap. III § C-1 ; Cheylan et Courtin, 1976 ; Binder, 1991 ; 2005b ; Binder et Sénépart, 2004).

	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) collagène					$\delta^{15}\text{N}$ (‰) collagène				
	Moyenne	Médiane	Min	Max	$\Delta^{13}\text{C}$	Moyenne	Médiane	Min	Max	$\Delta^{15}\text{N}$
Pendimoun (n = 4)	-19,9	-19,9	-20,1	-19,5	0,6	7,8	8,1	6,8	8,5	1,7
Unang (n = 1)	-21,0					8,4				
Sicard (n = 1)	-19,5					8,4				
Baume Bourbon (n = 4)	-20,1	-20,2	-20,3	-19,8	0,5	9,9	10,2	8,9	10,3	1,4
Fontbrégoua (n = 9)	-19,9	-19,8	-20,4	-19,8	0,6	9,5	9,4	9,2	9,8	0,6
Rastel (n = 1)	-19,6					8,7				
Arene Candide (n = 8)	-20,0	-20,0	-21,1	-19,4	1,7	8,6	9,0	6,2	9,4	3,2
Arene Candide sans 5BB	-19,9	-19,9	-20,3	-19,4	0,9	8,9	9,2	8,2	9,4	1,2

Tab. 55. Description statistique des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des populations des phases anciennes du Néolithique.

Les résultats de cette étude montrent également que les différents modes de subsistance qui peuvent être proposés se distinguent en fonction de la zone géographique considérée ; les populations vivant près du littoral méditerranéen (dont les individus de Sicard et du Rastel pour lesquels les valeurs isotopiques du collagène enregistrées sont similaires à celles de Pendimoun et des Arene Candide) n'ayant probablement pas les mêmes habitudes alimentaires que les populations vivant à l'intérieur des terres. Signalons par ailleurs, que l'accessibilité du milieu marin par les populations côtières ne semble pas être un facteur déterminant dans les choix alimentaires aux premières phases du Néolithique, malgré la présence de nombreux restes de coquillages et de poissons dans l'assemblage faunique des sites tels que Pendimoun et surtout des Arene Candide. Se pose alors la question de savoir si les différences alimentaires entre les deux zones géographique peuvent être mises en relation avec la divergence des modes de néolithisation

dans cette région (Bernabeu *et al.*, 1993 ; Guilaine, 2003) ; néolithisation par colonisation sur les côtes induisant un mode de vie peut-être plus sédentaire et le développement plus précoce et plus prépondérant de l'agriculture et de l'élevage (au détriment de l'acquisition des ressources sauvages, en particulier marine) qu'à l'intérieur des terres où la néolithisation se fait par acculturation.

b.3 Relations Homme/animal

Hommes/herbivores domestiques

Les différences de valeurs isotopiques entre les animaux domestiques herbivores et les groupes humains sont variables d'un site archéologique à l'autre et d'une période à l'autre : de + 2,9 ‰ à + 5,0 ‰ pour le $\delta^{15}\text{N}$ en moyenne et de - 0,3 ‰ à 1,1 ‰ en moyenne pour le $\delta^{13}\text{C}$ au Néolithique ancien cardial ; de + 2,2 ‰ à + 4,1 ‰ pour le $\delta^{15}\text{N}$ en moyenne et de -0,1 ‰ à + 0,8 ‰ en moyenne pour le $\delta^{13}\text{C}$ au VBQ et à Fontbrégoua. Nous pouvons remarquer que, d'une manière générale, la majeure partie des individus des phases anciennes du Néolithique ont des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ comprises dans les marges du niveau trophique de type carnivore ($\delta^{15}\text{N} + 3\text{-}5$ ‰ par rapport aux valeurs de la faune herbivore terrestre). Par ailleurs la comparaison sur chaque site des valeurs isotopiques du collagène entre les individus humains et la faune herbivore indique qu'il existe des différences très significatives concernant le $\delta^{15}\text{N}$ entre ces deux groupes alors que pour le $\delta^{13}\text{C}$ aucune différence significative n'est mise en évidence. Ce résultat est identique sur tous les sites (annexe 35). De cette observation nous pouvons proposer plusieurs hypothèses :

- la majeure partie des protéines de l'alimentation humaine sont animales ;
- les ressources animales terrestres omnivores, carnivores et/ou de jeunes animaux (dont le collagène osseux reflète encore un régime alimentaire lacté) peuvent contribuer de façon importante aux protéines de l'alimentation ;
- la contribution des ressources dulcicoles aux protéines de l'alimentation. Peu de résultats isotopiques concernant cette espèce sont disponibles dans la littérature, néanmoins quelques restes osseux ont fait l'objet d'analyses sur un site néolithique au nord des Alpes bavares (Pestenacker, 3800-3300 BC cal.). Les résultats indiquent des valeurs isotopiques du collagène osseux comprises entre -27,3 ‰ et -23,5 ‰ pour le $\delta^{13}\text{C}$ et entre 7,8 ‰ et 9,4 ‰ pour le $\delta^{15}\text{N}$ (n = 6) (Bösl *et al.*, 2006). Ces données suggèrent que leurs consommateurs ont des $\delta^{15}\text{N}$ élevés et des $\delta^{13}\text{C}$ faibles, probablement plus faibles que ceux enregistrés sur les individus que nous avons étudiés. Toutefois, seule l'analyse isotopique du collagène osseux de quelques échantillons de cistude sur les sites étudiés permettra de mieux appréhender leur part dans l'alimentation protéinique humaine. Ajoutons par ailleurs, que la consommation de ressources aquatiques dans l'alimentation

au Néolithique n'est pas exceptionnelle puisqu'elle a été mise en évidence sur d'autres sites néolithiques et en particulier en Belgique (Bocherens *et al.*, sous presse).

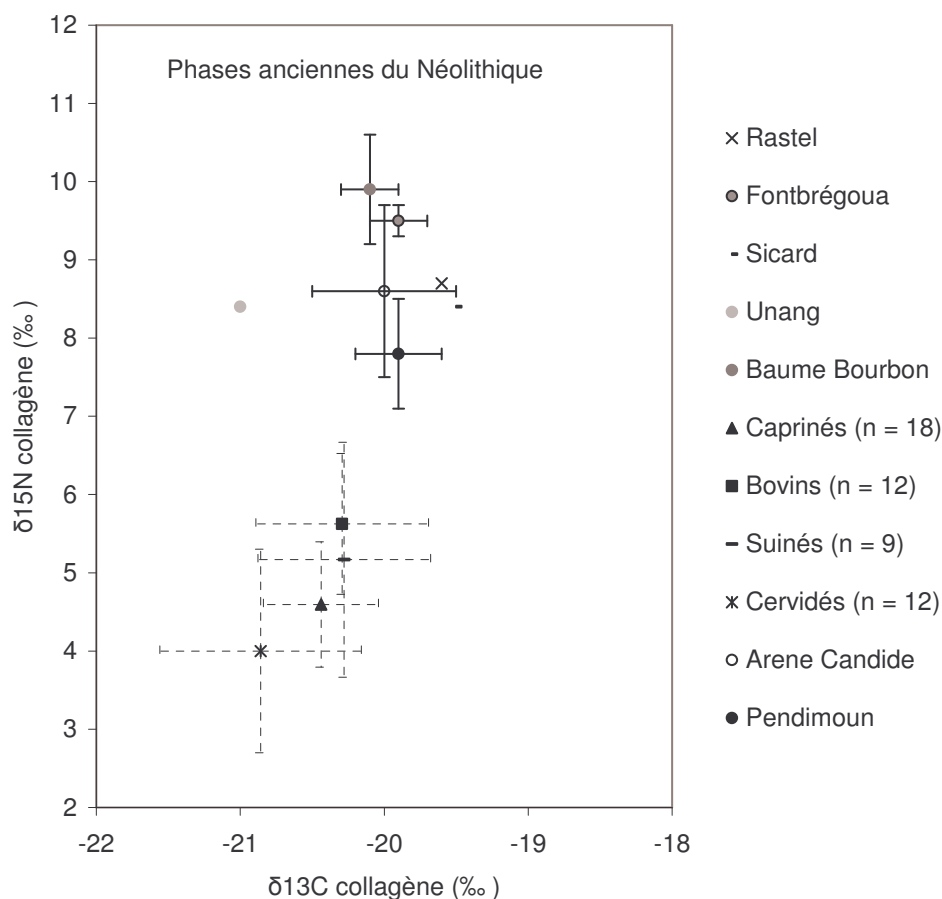


Fig. 90. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ et écart-type à 1σ des différentes espèces animales et des populations humaines des sites des phases anciennes du Néolithique.

De plus, des différences chronologiques sont susceptibles d'exister entre la faune et les restes humains analysés sur un même site, et plus particulièrement à Fontbrégoua ; sur ce dernier site il est en effet possible que la population humaine étudiée et la faune proviennent d'un environnement différent. Enfin, l'ensemble des résultats isotopiques du collagène n'indique pas que les ressources marines contribuent aux protéines de l'alimentation malgré la position géographique de certains sites et malgré la découverte de nombreuses coquilles de mollusques marins dans les couches du Néolithique ancien (*e.g.* Pendimoun).

Hommes/animaux sauvages

Sur les différents sites étudiés, peu d'animaux sauvages ont pu être analysés. Ces derniers sont des cervidés (cerfs, chevreuil), un bovin (*Bos* sp. sur le site d'Unang), un sanglier (sur le site d'Unang) et un blaireau (sur le site de Pendimoun). La part des ressources sauvages, en particulier des grands herbivores terrestres, dans l'alimentation protéinique des individus humains n'a pas pu être mise en évidence par l'étude isotopique sur les sites des phases anciennes du Néolithique et ce pour plusieurs raisons : le faible effectif d'animaux sauvages analysés et l'absence de différenciations isotopiques nettes entre les espèces sauvages et les espèces domestiques.

b.4 Synthèse de l'étude des sites des phases anciennes du Néolithique

L'ensemble des données isotopiques obtenues sur les différents sites archéologiques et la comparaison inter-site des valeurs isotopiques du collagène, nous permet d'avoir des informations complémentaires quant aux modes de subsistance des premières populations néolithisées :

- l'importance des ressources carnées dans l'alimentation ou complétée par des ressources dulcicoles par exemple (*e.g.* tortue cistude) pour certains sites à l'intérieur des terres (Baumes Bourbon⁸¹ et Fontbrégoua) ;
- l'absence de consommation régulière de ressources marines pour les populations côtières ;
- des modes de subsistances probablement différents entre les individus de l'intérieur des terres et ceux proches des côtes ; modes de subsistance plus orientés vers les ressources carnées en terme de quantité et/ou de qualité (jeunes animaux, petits carnivores) chez les populations de l'intérieur des terres.

c. Le Montbolo et le Chasséen

c.1 La faune

Sur les sites du Montbolo et du Chasséen méridional, la comparaison des valeurs isotopiques des différents taxons indiquent qu'il n'existe aucune différence significative entre les sites, excepté pour le chien (annexe 33 ; Fig. 91). Ces résultats sont identiques pour les deux études (MPI-EVA, EPOC), excepté en ce qui concerne le chien. Les $\delta^{13}\text{C}$ de chaque espèce de faune sont très homogènes entre les sites, excepté pour le bœuf chez lequel l'amplitude de $\delta^{13}\text{C}$ inter-site est de 1 ‰ (les effectifs étudiés sont toutefois très faibles ; Tab.). Néanmoins, l'ensemble des valeurs isotopiques du carbone enregistrées dans le collagène de ces animaux est représentatif de la fréquentation d'un milieu terrestre tempéré dont les végétaux ont une

⁸¹ Rappelons que pour ce site les résultats doivent être pris avec précaution.

photosynthèse de type C₃ (DeNiro et Epstein, 1978) ; les ressources végétales d'origine marine et terrestre de type C₄ ne font donc pas partie de l'alimentation de ces derniers. Les $\delta^{15}\text{N}$ sont également homogènes entre les sites chez les caprinés et les suinés suggérant la fréquentation de milieux isotopiquement proches ou un nourrissage similaire de ces animaux entre les différents sites. Concernant les bovins, l'amplitude du $\delta^{15}\text{N}$ inter-site est, tout comme le carbone, plus importante que chez les autres espèces de 0,9 ‰ (MPI-EVA et EPOC). Manifestement, les bœufs sont susceptibles d'avoir consommé des ressources différentes selon les sites, mais les différences isotopiques observées ne sont pas significatives. Les cervidés présentent également des $\delta^{15}\text{N}$ variés ($\Delta\delta^{15}\text{N}$ inter-site de 1 ‰ à 1,5 ‰) qui témoignent probablement de la fréquentation de milieux distincts par ces animaux sauvages. Toutefois le faible effectif d'animaux étudiés ne permet pas de discuter ce point avec pertinence. Concernant les chiens, une différence existe entre les $\delta^{13}\text{C}$ des individus du site de Montou et ceux du site du Crès, de 0,4 ‰ en moyenne (analyses MPI-EVA) et de 0,7 ‰ en moyenne (analyses EPOC) (Tab. 54) ; les valeurs isotopiques du carbone des chiens de Montou étant les plus élevées. Cette différence est significative ($p = 0,02$) lorsque l'on prend en compte les résultats obtenus par la chaîne opératoire réalisée au laboratoire MPI-EVA, mais elle n'est pas significative ($p = 0,06$) si l'on prend en compte les résultats obtenus par la chaîne opératoire réalisée au laboratoire EPOC. Aucune différence inter-site concernant le $\delta^{15}\text{N}$ entre ces animaux n'a en revanche été mise en évidence, et ce pour les deux études. Ces résultats indiquent que les ressources protéiniques consommées par les chiens de Montou et du Crès sont probablement acquises dans des environnements différents (*e.g.* fréquentation d'un milieu plus fermé par les chiens du Crès que par ceux de Montou).

	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) collagène				$\delta^{15}\text{N}$ (‰) collagène			
	Moyenne	Min	Max	$\Delta^{13}\text{C}$	Moyenne	Min	Max	$\Delta^{15}\text{N}$
MPI-EVA								
Bœufs								
Montou (n = 2)	-19,5	-21,1	-17,9	3,2	5,3	4,4	6,2	1,8
Les Plots (n = 2)	-20,5	-20,7	-20,2	0,5	5,3	4,5	6,1	1,6
Le Crès (n = 4)	-20,0	-20,9	-19,0	1,9	6,2	5,5	6,8	1,3
Caprinés (mouton-chèvre)								
Montou (n = 6)	-19,9	-20,7	-18,2	2,5	6,3	5,6	7,5	1,9
Le Crès (n = 3)	-20,1	-20,2	-19,9	0,3	6,1	5,8	6,6	0,8
Cervidés (cerf-chevreuil)								
Les Plots (n = 1)	-20,7	-	-	-	4,8	-	-	-
Le Crès (n = 1)	-20,6	-	-	-	6,3	-	-	-
<i>Sus</i> sp.								
Montou (n = 3)	-19,7	-19,7	-19,6	0,1	5,8	4,7	6,5	1,8
Les Plots (n = 2)	-20,1	-20,5	-19,7	0,8	5,9	5,0	6,7	1,7
Chiens								
Montou (n = 4)	-19,2	-19,3	-18,9	0,4	8,8	8,1	9,5	1,4
Les Plots (n = 1)	-19,5	-	-	-	8,3	-	-	-
Le Crès (n = 4)	-19,6	-19,8	-19,3	0,5	8,0	7,6	8,7	1,1
EPOC								
Bœufs								
Montou (n = 1)	-20,0	-	-	-	5,7	-	-	-
Les Plots (n = 2)	-20,2	-20,5	-19,9	0,6	6,2	6,2	6,2	0,0
Le Crès (n = 4)	-19,5	-20,4	-18,4	2,0	6,6	6,1	7,3	1,2
Caprinés (mouton-chèvre)								
Montou (n = 5)	-19,6	-20,5	-18,0	2,5	5,9	4,9	7,5	2,6
Les Plots (n = 1)	-20,7	-	-	-	6,2	-	-	-
Le Crès (n = 3)	-19,9	-20,2	-19,8	0,4	6,3	6,0	6,8	0,8
Cervidés (cerf-chevreuil)								
Les Plots (n = 1)	-20,4	-	-	-	5,4	-	-	-
Le Crès (n = 1)	-20,6	-	-	-	6,4	-	-	-
<i>Sus</i> sp.								
Montou (n = 4)	-19,0	-19,2	-18,5	0,7	5,7	3,9	7,1	3,2
Les Plots (n = 1)	-19,5	-	-	-	5,7	-	-	-
Chiens								
Montou (n = 4)	-18,8	-19,0	-18,5	0,5	8,4	7,7	8,9	1,2
Les Plots (n = 1)	-18,9	-	-	-	7,5	-	-	-
Le Crès (n = 3)	-19,5	-19,6	-19,4	0,2	7,9	7,8	8,1	0,3

Tab. 56. Moyenne, minimum, maximum et amplitude des valeurs isotopiques des différentes espèces animales présentes sur les sites du Montbolo et du Chasséen (analyses MPI-EVA et EPOC).

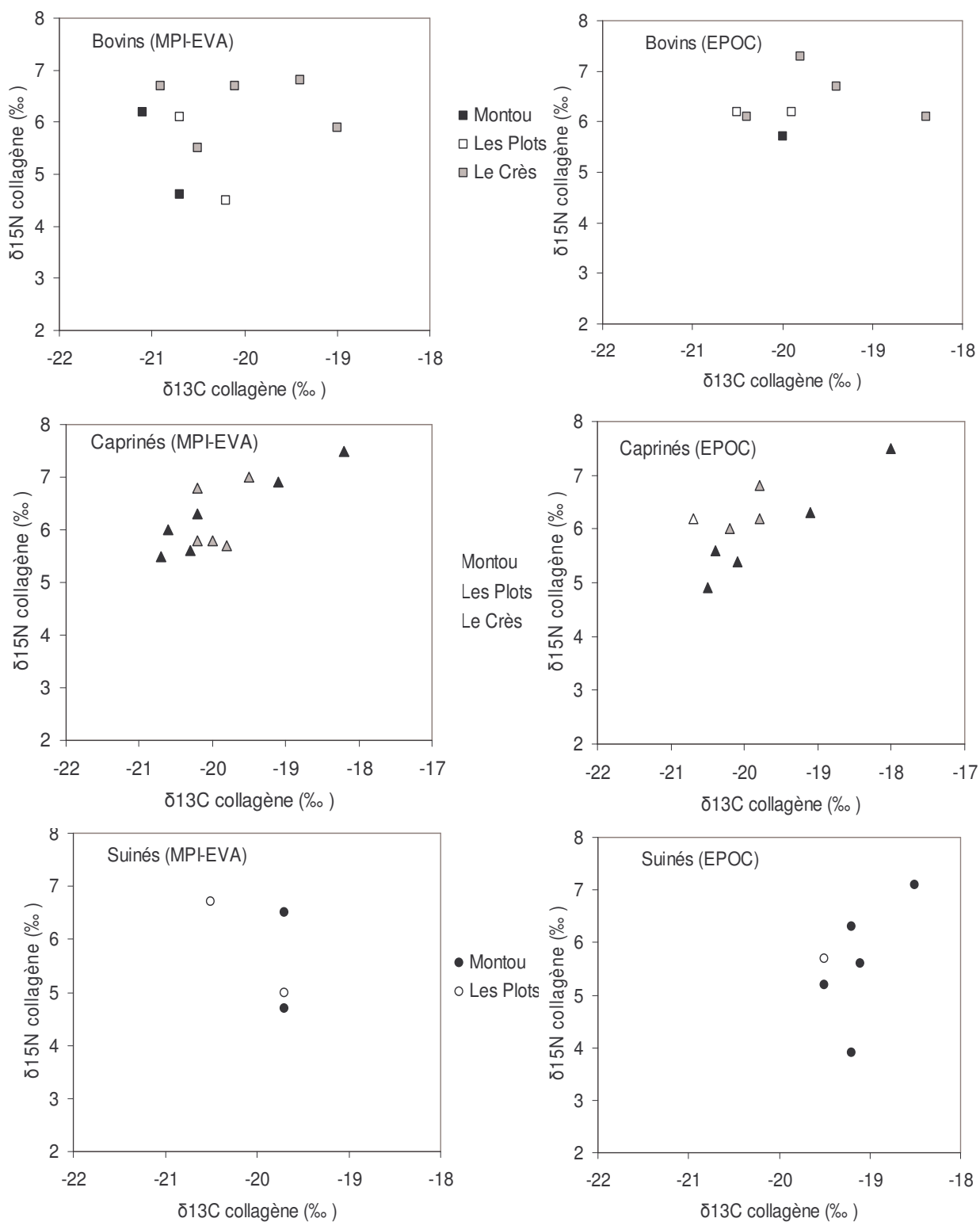


Fig. 91. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ de Bovins, caprinés et suinés des sites du Néolithique moyen Montbolo et Chasséen.

Sur chaque site, les valeurs isotopiques de la faune herbivore et omnivore ne se différencient pas ; par conséquent les suinés ont probablement un régime alimentaire proche des espèces herbivores. Au Néolithique, cette observation est courante (Hedges et Reynard, sous presse), et nous avons pu le remarquer également pour la période précédente. En revanche, en ce qui concerne les chiens, on remarque que leurs $\delta^{15}\text{N}$ sont plus élevés que ceux des autres animaux d'environ 3 ‰ (MPI-EVA et EPOC ; Fig. 92), mais seule la différence de valeur isotopique de l'azote observée sur le site de Montou entre les canidés et les herbivores est significative (annexe 33). La participation des ressources carnées au régime alimentaire des canidés explique leur position dans la chaîne trophique, supérieure à celles des autres espèces animales (Fig. 92).

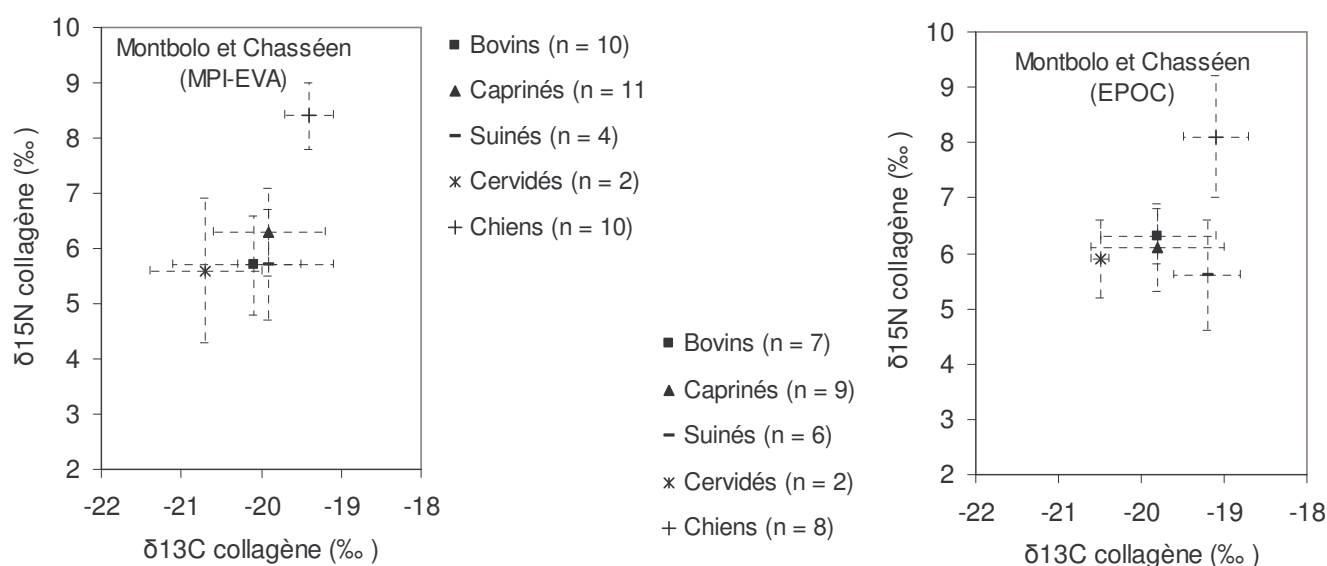


Fig. 92. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ et écart-type à 1 σ des différentes espèces des sites du Montbolo et du Chasséen.

c.2 La population humaine

Les valeurs isotopiques du carbone des populations humaines du Montbolo et du Chasséen sont très proches avec une amplitude inter-site de 0,6 ‰ pour les résultats obtenus au laboratoire MPI-EVA et un peu plus variables avec une amplitude inter-site de 1,2 ‰ pour les résultats obtenus au laboratoire EPOC (Tab.). De la même manière, les $\delta^{15}\text{N}$ enregistrés dans le collagène sont homogènes entre les populations avec une amplitude inter-site de 0,7 ‰ (EPOC) à 0,9 ‰ (MPI-EVA). Toutefois, cette observation est valable si l'on ne tient pas compte de l'enfant de Coste Rouge, dont le cas ne peut être que discuté séparément pour le moment (*cf.* chap. IV § 4). Aucune différence significative n'a par ailleurs été mise en évidence entre les valeurs isotopiques des populations, excepté en ce qui concerne les résultats obtenus au laboratoire EPOC. En effet, si l'on prend en compte ces derniers, on remarque que les $\delta^{13}\text{C}$ enregistrés dans

le collagène osseux humain sur le site du Crès sont plus faibles (-19,5 ‰ ; n = 30) que ceux enregistrés à Montou (-18,8 ‰ ; n = 5) d'environ 0,7 ‰.

Puisqu'au sein de la faune herbivore et omnivore, les valeurs isotopiques ne se distinguent pas particulièrement, l'absence de différence isotopique significative entre les populations humaines suggère que, dans l'ensemble, leur mode de subsistance sont proches et que les protéines consommées sont isotopiquement similaires. Toutefois, si l'on prend en compte les résultats issus de la chaîne opératoire du laboratoire EPOC, il n'est pas impossible que les populations humaines de Montou et du Crès aient puisé leurs ressources dans des milieux différents ; la population ou une partie de la population du Crès pouvant acquérir ses ressources dans un milieu plus fermé qu'à Montou.

	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) collagène					$\delta^{15}\text{N}$ (‰) collagène				
	Moyenne	Médiane	Min	Max	$\Delta^{13}\text{C}$	Moyenne	Médiane	Min	Max	$\Delta^{15}\text{N}$
MPI-EVA										
Montou (n = 4)	-19,6	-19,6	-19,7	-19,4	0,3	8,7	8,8	7,4	9,7	2,3
Les Plots (n = 1)	-19,8					8,1				
Le Crès (n = 38)	-19,8	-19,7	-20,8	-19,2	1,6	9,0	9,1	4,7	12,1	7,4
Coste Rouge (n = 1)	-19,3						11,4			
EPOC										
Montou (n = 5)	-18,8	-18,8	-19,1	-18,6	0,5	8,2	8,2	7,3	9,0	1,7
Les Plots (n = 1)	-19,6					8,8				
Le Crès (n = 30)	-19,5	-19,5	-20,6	-18,6	2,0	8,1	8,1	6,6	11,1	4,5
Coste Rouge (n = 1)	-19,0					10,8				

Tab. 57. Description statistique des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des populations du Néolithique moyen (analyses MPI-EVA et EPOC).

c.3 Relations Homme/animal

Hommes/herbivores domestiques

MPI-EVA. La place des individus du Montbolo et du Chasséen dans la chaîne alimentaire est très variable. En effet, les différences relatives de valeurs isotopiques entre les populations humaines et la faune herbivore domestique terrestre vont de -0,8 à 0,7 ‰ pour le $\delta^{13}\text{C}$ et de -1,6 à 5,8 ‰ pour le $\delta^{15}\text{N}$. Certains individus ont des valeurs isotopiques de l'azote très élevées, et dans ce cas la consommation de ressources plus riches en ^{15}N que la viande d'herbivore terrestre est une hypothèse probable. Parmi les ressources riches en ^{15}N nous pouvons évoquer : les ressources marines, dulcicoles, omnivores ou carnivores terrestres. Cette hypothèse concerne particulièrement l'individu 10b du Crès et l'enfant de Coste Rouge. De même, d'autres individus se distinguent sur le site du Crès, individus dont les valeurs isotopiques sont faibles : ce sont les sujets 8a, 13 et 26, de sexe féminin (*cf.* chap. IV étude du Crès).

EPOC. Tout comme pour les analyses réalisées dans le laboratoire MPI-EVA, les résultats isotopiques du collagène des individus humains de l'ensemble des sites indiquent que la place de ces derniers dans la chaîne alimentaire est très variable. Les différences relatives de valeurs isotopiques entre les populations humaines et la faune herbivore domestique terrestre vont de -0,9 à 1,5 ‰ pour le $\delta^{13}\text{C}$ et de 0,3 à 5,3 ‰ pour le $\delta^{15}\text{N}$. Les sujets pour lesquels des $\delta^{15}\text{N}$ élevés sont enregistrés nous montrent qu'un accès aux protéines riches en ^{15}N était disponible pour certains individus. Cette remarque concerne particulièrement l'enfant de Coste Rouge et l'individu masculin 10b du Crès. Enfin, rappelons également que deux individus du Crès se distinguent par de très faibles $\delta^{15}\text{N}$: l'enfant 8d et la femme 13 (*cf.* chap. IV étude du Crès).

La comparaison, sur chaque site archéologique, des valeurs isotopiques du collagène de la faune herbivore et de la population humaine a mis en évidence une différence très significative du $\delta^{15}\text{N}$ entre ces deux groupes, différence que l'on ne retrouve pas pour le $\delta^{13}\text{C}$ (annexe 35). Ces résultats sont identiques quelle que soit l'étude réalisée (MPI-EVA, EPOC). Ajoutés à l'importante amplitude des valeurs isotopiques de l'azote observée pour cette période, ces résultats indiquent que les ressources protéiniques consommées par les individus sont d'origine mixte (animales et végétales), acquises principalement dans l'environnement terrestre, dont la

quantité des protéines animales et/ou l'origine des protéines consommées varient selon les individus.

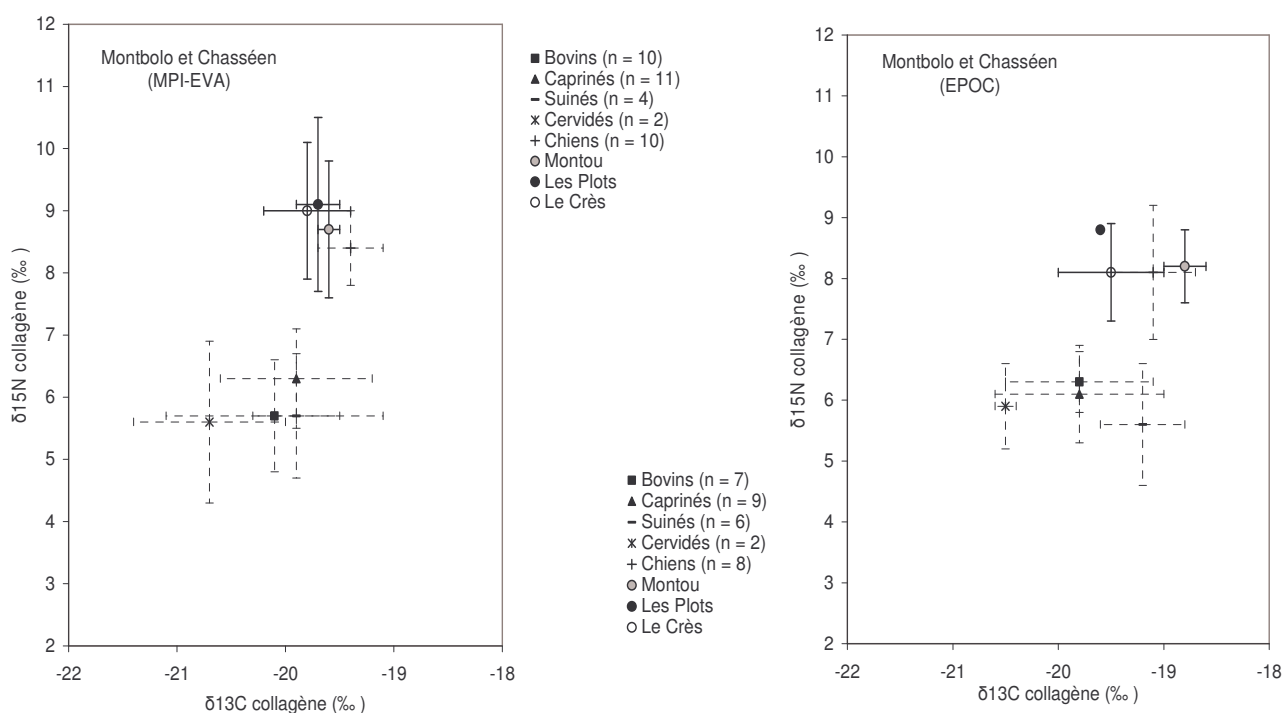


Fig. 93. $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ et écart-type à 1 σ des différentes espèces animales et des populations humaines des sites du Montbolo et du Chasséen.

Hommes/animaux sauvages

Au Montbolo et au Chasséen, très peu de restes osseux d'animaux sauvages sont présents sur les sites et par conséquent seul un très faible effectif a pu être analysé. Cette remarque est valable autant pour l'étude réalisée au laboratoire MPI-EVA que pour celle réalisée au laboratoire EPOC. Ces animaux, lorsqu'ils sont présents dans le spectre faunique du site, sont généralement des grands herbivores tels que les cervidés (cerf, chevreuil). Par ailleurs, on remarque que les valeurs isotopiques des herbivores sauvages sont dans la variabilité de celles enregistrées pour les herbivores domestiques. La part des ressources sauvages dans l'alimentation protéinique des individus humains ne peut donc pas être mise en évidence par l'étude isotopique. Par ailleurs, les études archéozoologiques menées sur les sites étudiés montrent que les animaux sauvages semblent ne pas être beaucoup consommés et leur présence dans les dépôts funéraires suggère un aspect plus symbolique qu'alimentaire.

Hommes/chiens

Sur l'ensemble des sites du Montbolo et du Chasséen étudiés au laboratoire MPI-EVA, toutes les valeurs isotopiques des chiens sont dans la variabilité de celles enregistrées pour les individus humains des mêmes sites. Ces observations sont identiques lorsque l'on prend en compte les analyses réalisées au laboratoire EPOC excepté sur le site des Plots. En effet, sur ce dernier le $\delta^{13}\text{C}$ du chien est plus élevé (de 0,7 ‰) que celui de l'homme de la sépulture F49 mais son $\delta^{15}\text{N}$ est plus faible (de 1,3 ‰).

La comparaison statistique des valeurs isotopiques du collagène, obtenues par la chaîne opératoire MPI-EVA, met en évidence une différence très significative (annexe 35) entre les $\delta^{15}\text{N}$ des chiens et des hommes sur le site du Crès et une différence significative entre le $\delta^{13}\text{C}$ des chiens et des hommes sur le site de Montou. En revanche, ces résultats ne sont pas observés sur le site de Montou lorsque les valeurs obtenues avec la chaîne opératoire EPOC sont prises en compte.

MPI-EVA. L'ensemble des résultats statistiques montre que même si les valeurs isotopiques du collagène des chiens entrent dans la variabilité de celles observées dans le collagène des individus humains, des différences alimentaires sont possibles entre ces deux groupes (Fig. 95). Sur le site du Crès, les canidés ont effectivement des $\delta^{15}\text{N}$ (de 7,6 ‰ à 8,7 ‰) parmi les plus faibles de la population humaine (de 4,7 ‰ à 12,1 ‰), comme on l'observe également aux Plots, suggérant un accès aux protéines animales moins fréquent et/ou d'origine différente chez les chiens que dans une partie de la population du site. A Montou, les différences observées concerne le $\delta^{13}\text{C}$, un peu plus élevé en moyenne chez les canidés (-19,1 ‰) que dans la population humaine (-19,6 ‰) et pouvant être interprétées comme la fréquentation de milieux distincts par ces deux groupes (*e.g.* fréquentation d'un milieu plus fermé par les hommes).

EPOC. Concernant les résultats obtenus au laboratoire EPOC, aucune différence alimentaire n'est suggérée entre les chiens et les hommes des sites du Crès et de Montou (Fig. 95). En revanche, les différences de $\delta^{13}\text{C}$ et de $\delta^{15}\text{N}$ observées entre le chien et l'individu masculin F49 sur le site des Plots vont dans le même sens que l'étude précédente (MPI-EVA), à savoir la consommation de ressources isotopiquement distinctes entre le chien et l'homme ; le chien étant susceptible de consommer des ressources moins riche en protéines animales et/ou des protéines animales issues d'un milieu différent que celles de l'alimentation humaine.

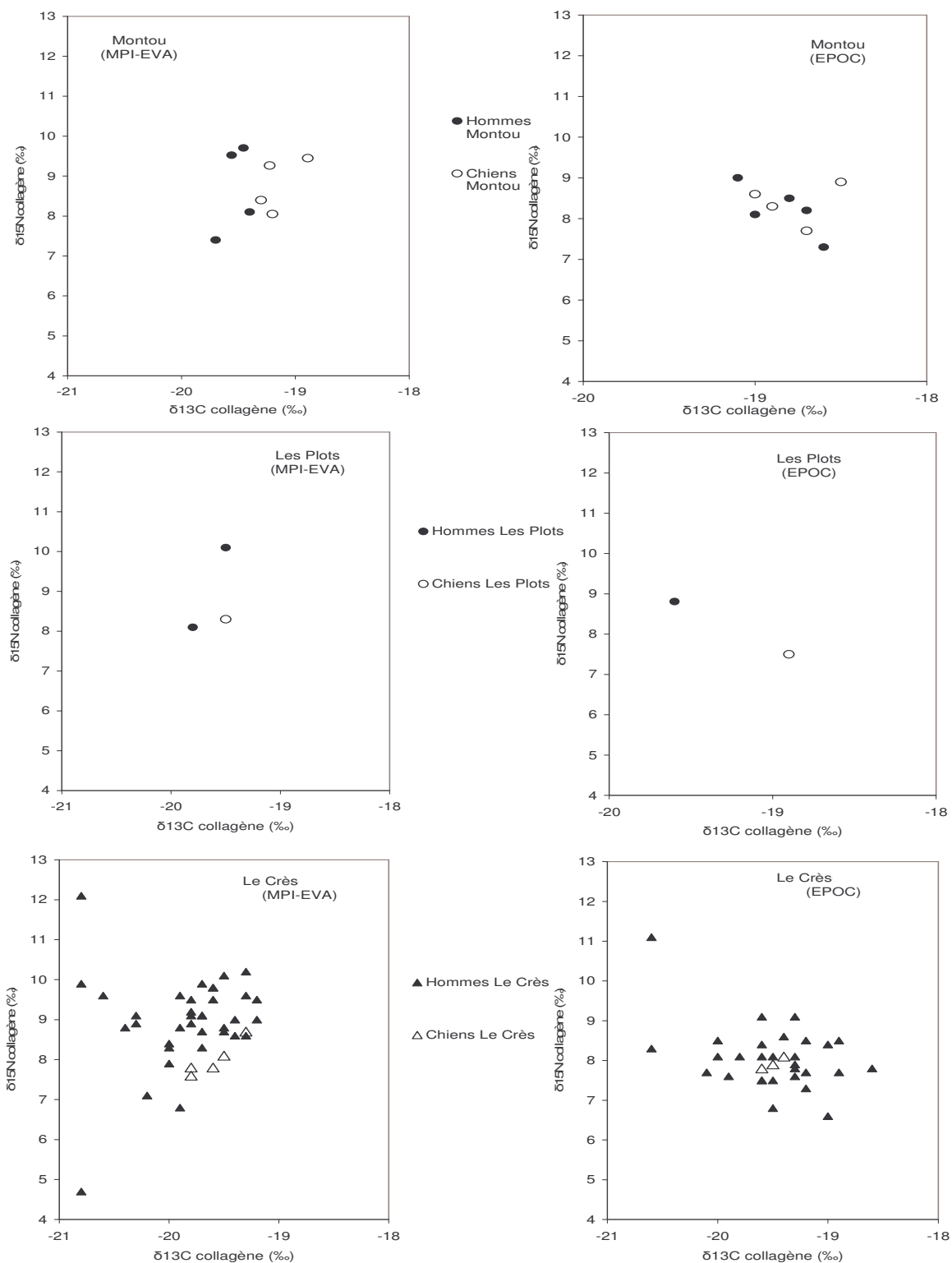


Fig. 94. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des chiens et de la population humaine du Crès et de Montou (analyses MPI-EVA et EPOC).

Les informations obtenues par les deux études (MPI-EVA et EPOC) sont intéressantes car sur ces sites les canidés sont retrouvés en contexte sépulcral, en particulier au Crès où un chien complet était présent dans une sépulture contenant un individu humain (*cf.* chap. I § 4-a.). Se pose alors la question des relations entre le chien et l'Homme et du statut de ce premier au sein des sociétés du Chasséen méridional.

Les relations alimentaires entre les chiens et les hommes sont variables selon les sites archéologiques, la période et la zone géographique considérées. La similarité entre les valeurs isotopiques du collagène des chiens et des hommes a été observée sur plusieurs sites archéologiques (Noe-Nygaard, 1988 ; Clutton-Brock et Noe-Nygaard, 1990). Certains auteurs (Cannon *et al.*, 1999) ont même proposé d'utiliser les valeurs obtenues sur les chiens pour discuter l'évolution de l'alimentation au cours de plusieurs périodes, lorsque peu ou aucun reste humain n'est disponible sur le site. Toutefois, cette application ne semble pas toujours adéquate puisque comme nous l'avons signalé précédemment des différences alimentaires entre les chiens et les humains peuvent exister. Ces différences ont également été observées sur d'autres sites archéologiques tels que Vlasac et Padina (région du Danube entre 10000-5500 BC cal. ; Borić *et al.*, 2004), dans d'autres sites d'Europe centrale (Slovénie, Age du fer; Murray et Schoeninger, 1988), mais également en région arctique (900-1350 BC cal. ; Coltrain *et al.*, 2004) et aux îles Fidji (XIX^e siècle ; Valentin *et al.*, 2006), sites dans lesquels les valeurs isotopiques des chiens domestiques se distinguent de la population humaine, notamment en ce qui concerne le $\delta^{15}\text{N}$, souvent plus faible dans le collagène osseux des canidés (Fig. 95). Ces distinctions ont été interprétées par certains auteurs (Borić *et al.*, 2004) comme des différences alimentaires, les chiens consommant de manière opportuniste les restes de nourriture des individus humains et les humains consommant entre autres les chiens. L'étude de Ericksson et Zagorska (2003) souligne également une forte distinction entre le régime alimentaire des hommes et des canidés sur des sites mésolithiques et néolithiques de Suède. Dans le cas précis de ce travail, les analyses isotopiques réalisées ont mis en évidence une grande variabilité des régimes alimentaires au sein de la population canine, régime dont les protéines proviennent principalement des ressources marines, terrestres ou dulcicoles, ainsi qu'une distinction nette entre les modes de subsistance des chiens et ceux de la population humaine. Par ailleurs, l'hétérogénéité alimentaire des chiens montre selon les auteurs, que ces animaux avaient probablement des contacts avec des populations humaines de différentes zones géographiques.

L'analyse de restes osseux de chiens domestiques, lorsque ces derniers sont présents sur le site, est importante car elle permet de connaître les valeurs isotopiques pour le niveau trophique carnivore à tendance omnivore. L'analyse de restes osseux humains reste toutefois indispensable puisque d'une part les hommes sont susceptibles de consommer des ressources isotopiquement différentes de celles des chiens (Fig. 95) et d'autre part la comparaison des résultats hommes/chiens permet de discuter des pratiques alimentaires et éventuellement le statut du chien

au sein de la population au regard des données archéologiques (*e.g.* sépulture de chiens). Enfin, bien que la liste des publications citées ne soit pas exhaustive, nous pouvons également remarquer que lorsque des différences isotopiques existent entre les chiens et les hommes d'un même site, elles sont souvent en « défaveur » des canidés, les situant plus bas dans la chaîne alimentaire ou au même niveau trophique que les individus humains dont les $\delta^{15}\text{N}$ sont les plus faibles de la population.

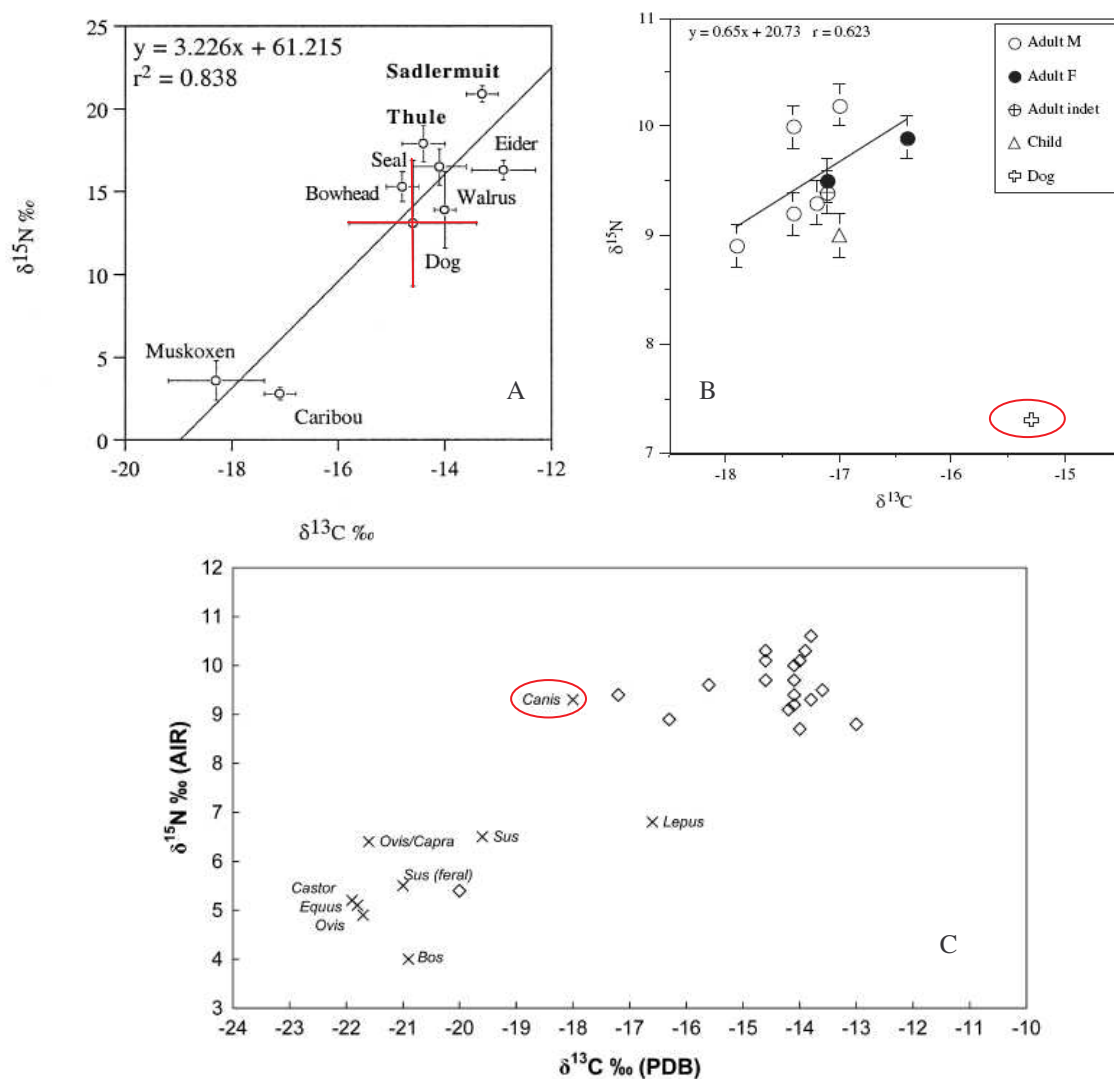


Fig. 95. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des chiens, des populations humaines et de quelques espèces animales de la région arctique (A ; extrait de Coltrain *et al.*, 2004), des îles Fidji (B ; extrait de Valentin *et al.*, 2006) et d'Europe centrale (C ; extrait de Le Huray et Shutkowski, 2005 d'après Murray et Schoeninger, 1988).

c.4 Synthèse de l'étude des sites du Montbolo et du Chasséen

Regard sur une double étude

La présentation de l'ensemble des données obtenues avec les deux méthodes d'extraction nous a permis d'une part, d'effectuer un maximum d'analyses comparatives entre les données biologiques, archéologiques et isotopiques et d'autre part, de voir comment une méthode d'extraction « sélectionne » les échantillons d'une population et peut influencer au final sur l'interprétation des données. Rappelons qu'une comparaison directe des interprétations et des hypothèses proposées pour chaque analyse, entre les deux études réalisées pour cette période, n'est pas pertinente. Il existe effectivement un nombre d'individus, mais également des individus différents pour chaque site en fonction de l'étude engagée (MPI-EVA ou EPOC).

Ces deux études montrent de points concordants et discordants. Le fait que les individus et leur effectifs diffèrent, ne joue pas réellement de rôle quant à la distribution des valeurs isotopiques des animaux herbivores et leur place dans le réseau trophique. Par ailleurs, on remarquera que les individus humains observés comme étant « atypiques », se distinguent quelle que soit l'étude considérée. En revanche, les variations de l'effectif et des individus entre les deux études, influent plus probablement d'une part, sur la comparaison entre les canidés et les individus humains et d'autre part, sur la distribution des valeurs isotopiques des populations humaines qui dans l'ensemble ont des $\delta^{15}\text{N}$ plus élevés avec les résultats obtenus au laboratoire MPI-EVA qu'au laboratoire EPOC. Toutefois, on notera que les interprétations et les hypothèses proposées par l'étude isotopique en général, la comparaison des informations biologiques et archéologiques en particulier, vont globalement dans le même sens.

Une différence agriculteurs/éleveurs au Chasséen méridional ?

Evoquée plusieurs fois au cours de ce travail, la différence d'économie de subsistance entre les agriculteurs et les éleveurs au Chasséen est une problématique qui suscite de nombreuses réflexions. En effet, les recherches effectuées dans la vallée du Rhône par Beeching et collaborateurs (Beeching *et al.*, 2000) sur le comportement de populations chasséennes face aux choix des ressources alimentaires (pasteurs *vs* agriculteurs) montrent que l'activité pastorale semble être dominante, même dans une société où les artefacts témoignant de l'expansion de l'agriculture sont nombreux. Cette hypothèse est également appuyée par l'observation de résultats similaires sur d'autres sites néolithiques (Lidén, 1995b ; Dürrwächter *et al.*, 2006), et protohistoriques d'Europe (Jay et Richards, 2005), dans lesquels les études isotopiques indiquent que la consommation de ressources animales terrestres semble importante même si le mobilier agricole est très présent. Nos observations vont dans le même sens, à savoir que des individus dont l'économie de subsistance est fondée sur l'élevage présentent des valeurs isotopiques

similaires à d'autres individus vivant en plaine et dont l'économie de subsistance semble plus agricole. Il existe incontestablement des différences entre les individus mais principalement au sein même des sites archéologiques et par conséquent au sein d'un même mode économique (sauf si l'on considère que des mouvements de populations se sont produits). Signalons tout de même, que les différences alimentaires observées entre les hommes et les femmes sur le site du Crès par exemple, pourraient être liées à des choix économiques spécifiques au sein de la population ; la présence de fragments d'éléments de mouture étant prépondérante dans les sépultures des individus féminins (Loison *et al.*, 2004). Le fait qu'il existe des modèles économiques qui semblent dominants n'exclut pas un système d'échange de ressources avec d'autres communautés. Ce type d'organisation est par ailleurs bien documenté dès les premières phases du Néolithique dans le Midi de la France, dans lequel la production de lait était particulièrement impliquée (Helmer et Vigne, 2004). La difficulté réside à ce moment là dans l'identification des producteurs et des consommateurs. Ajoutons également qu'il n'est pas impossible que l'orientation agricole d'un site ait pour objectif de nourrir le bétail plus que l'Homme lui-même. Par ailleurs, même si les pratiques funéraires laissent supposer plus de « monumentalisme » au cours du Néolithique moyen, et même s'il semble que le système économique agricole soit lié à une structuration sociale plus complexe (Binford, 1972), ce phénomène n'est pas toujours évident, ni même distinguable (Lidén, 1995b). Concernant ce dernier point, il est important de prendre en compte les résultats obtenus pour l'enfant de Coste Rouge ; la particularité dans le traitement funéraire et la place de cet individu au sein du réseau trophique nous signalent que la problématique doit certainement être abordée sur une période plus large (tout le Chasséen). Par ailleurs, les résultats des analyses isotopiques réalisées nous fournissent encore une fois des pistes de recherches à exploiter, à savoir les relations possibles entre les pratiques funéraires et le statut des individus en relation avec une activité économique nécessitant une mobilité régulière et induisant la fréquentation de milieux écologiquement et isotopiquement distincts. La nécessité de multiplier les analyses, d'augmenter les effectifs et de diversifier les types de site à étudier pour cette période apparaît indispensable.

d. Synthèse sur l'ensemble du Néolithique

d.1 La faune

La comparaison des valeurs isotopiques pour chaque taxon, entre tous les sites du Néolithique, (résultats obtenus au laboratoire MPI-EVA) indique qu'il existe une différence de $\delta^{15}\text{N}$ significative entre les caprinés de plusieurs sites des phases anciennes du Néolithique et les caprinés des sites du Néolithique moyen (annexe 33 ; Tab. 58). On observe en effet que les caprinés des sites du Néolithique moyen ont des $\delta^{15}\text{N}$ plus élevés (en moyenne de 1,5 ‰) que ceux des sites plus anciens (Fig. 96) ; par ailleurs, les différences significatives de $\delta^{15}\text{N}$ que l'on observe entre les caprinés des sites de Pendimoun et du Crès se retrouvent également chez les bœufs (annexe 33). Ces derniers ont en effet un $\delta^{15}\text{N}$ plus élevé (en moyenne de 1,8 ‰) sur le site du Crès que sur la site de Pendimoun. Il est possible que les caprinés du Néolithique moyen ainsi que les bœufs du site du Crès consomment des végétaux dont les protéines sont plus riches en azote-15 que ceux des phases anciennes du Néolithique. Ces végétaux, susceptibles d'être sélectionnés par l'Homme, peuvent être issus de milieux différents selon les périodes. Ces différences d'approvisionnement entre les périodes reflètent-elles une modification au cours du temps de l'intérêt que porte l'Homme à l'exploitation des caprinés et des boeufs ?

d.2 La population humaine

Les populations humaines des phases anciennes du Néolithique et du Néolithique moyen Montbolo et Chasséen se distinguent isotopiquement. On remarque en effet, que les valeurs isotopiques de l'azote diffèrent entre les individus des sites de la Baume Bourbon et de Fontbrégoua comparés à ceux de Montou et du Crès. Cette observation est identique à celle réalisée par l'analyse des sites des phases anciennes du Néolithique (*cf.* c.1) puisque les individus de la Baume Bourbon et de Fontbrégoua diffèrent également de ceux des autres sites du Néolithique ancien et du VBQ. Les individus humains de Fontbrégoua et de la Baume Bourbon ont dans ce cas également des $\delta^{15}\text{N}$ plus élevés (9,9 ‰ ; n = 4 à la Baume Bourbon et 9,5 ‰ ; n = 9 à Fontbrégoua) que ceux du Montbolo et du Chasséen ancien (9,0 ‰ ; n = 38 au Crès et 8,7 ‰ ; n = 4 à Montou). Par ailleurs, il est indispensable de rappeler que les caprinés (mouton-chèvre) des sites du Montbolo et du Chasséen ont des $\delta^{15}\text{N}$ plus élevés (d'environ 1,5 ‰) que ceux des phases anciennes du Néolithique (Fig. 96).

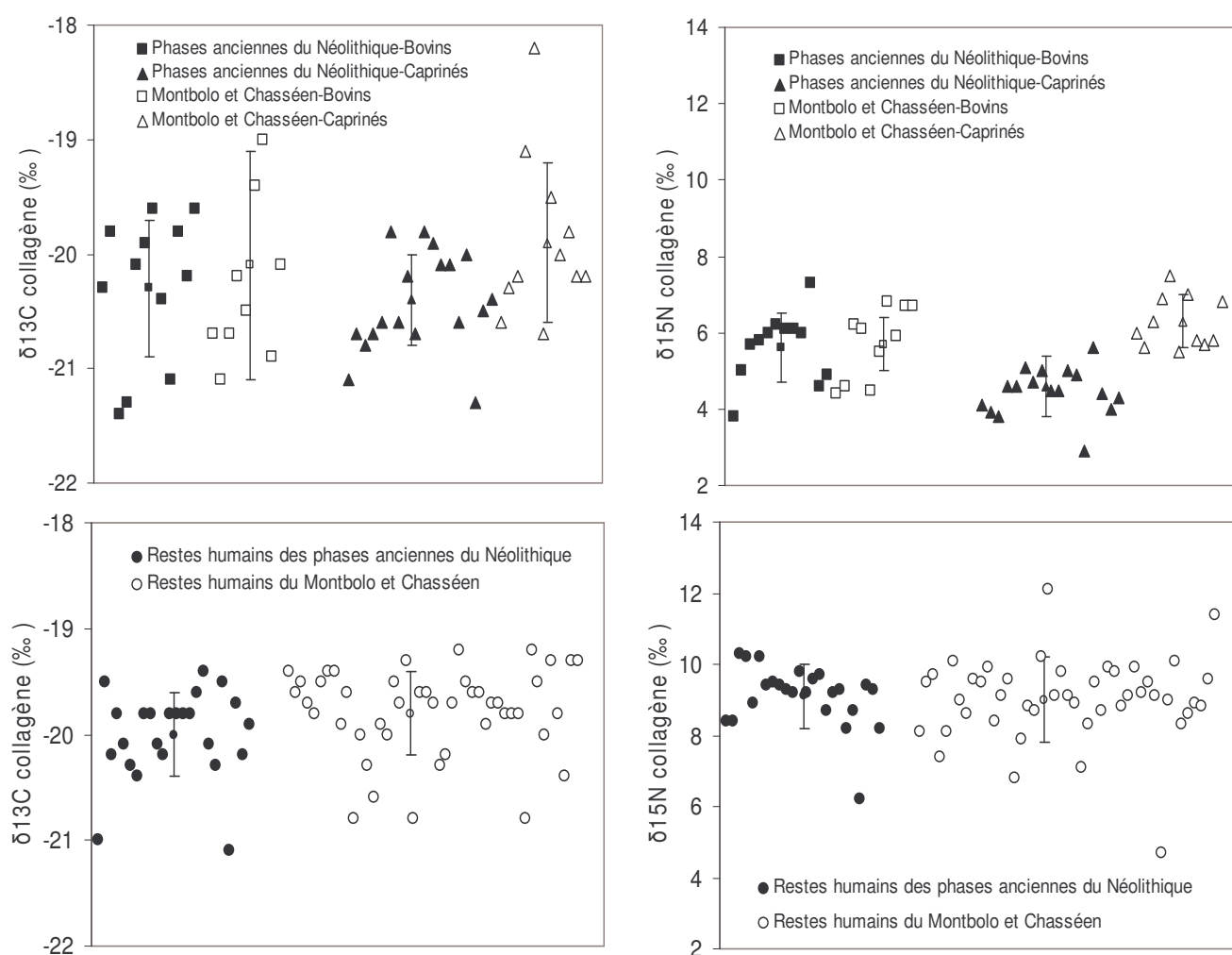


Fig. 96. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$, moyenne et écart-type à 1 σ des bovins, des caprinés et des populations humaines des phases anciennes du Néolithique et du Montbolo et Chasséen.

	SommeRgs PAN	SommeRgs NM	U	Z	niv. p	Z	niv. p	N Actif PAN	N Actif NM
Caprinés									
$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	280,50	215,50	70,50	-1,63	0,10	-1,64	0,10	20	11
$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	224,00	272,00	14,00	-3,96	0,00	-3,97	0,00	20	11
Bovins									
$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	159,50	116,50	61,50	0,22	0,83	0,22	0,83	13	10,00
$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	145,00	131,00	54,00	-0,68	0,50	-0,68	0,49	13	10

Tab. 58. Résultats du test U de Mann-Whitney de comparaison des valeurs isotopiques des caprinés et des bovins entre chaque période. PAN : Phases Anciennes du Néolithique ; NM : Néolithique Moyen.

L'ensemble de ces résultats nous montre que les individus humains de la Baume Bourbon et de Fontbrégoua consomment probablement plus de protéines animales et/ou plus de protéines issues de jeunes animaux (peut-être en relation avec une production laitière) et de petits carnivores que les populations du Néolithique moyen. Par ailleurs, même si aucune différence significative n'est mise en évidence entre les $\delta^{15}\text{N}$ des individus humains des sites de Pendimoun et des Arene Candide comparés à ceux du Néolithique moyen (Fig. 96), les différences de niveaux trophiques (différences isotopiques relatives entre les hommes et les animaux herbivores d'un même site) observées entre ces deux groupes d'individus (Fig. 96) suggèrent que les autres populations humaines du Néolithique ancien et du VBQ (Pendimoun et Arene Candide) ont un mode de subsistance distinct des populations du Néolithique moyen, mode de subsistance probablement plus orienté vers la viande et/ou les produits laitiers au Néolithique ancien et au VBQ qu'au Néolithique moyen chasséen.

Enfin, l'absence de différence significative, en ce qui concerne les valeurs isotopiques du carbone entre les populations des deux périodes du Néolithique, laisse penser que des ressources dont les protéines sont enrichies en ^{15}N et appauvries en ^{13}C (*e.g.* ressources d'eau douce), sont susceptibles d'avoir participé de manière plus importante à l'alimentation des individus humains des phases anciennes du Néolithique qu'à celle des populations du Montbolo et du Chasséen méridional.

Les hypothèses proposées par ces analyses vont dans le même sens que plusieurs études archéologiques qui suggèrent l'existence de changements de mode d'acquisition des ressources au cours du Néolithique. La phase ancienne serait dominée par un schéma agropastoral, où la prédation aurait encore une place plus ou moins importante, tandis qu'au Chasséen l'économie d'élevage et le développement des activités agricoles s'intensifieraient (Vaquer, 1986), et ce également dans le piémont pyrénéen (Galop, 2000). Notons également que ce type d'hypothèse a été proposé sur le site barcelonais de Bòbila Madurell, où l'apport carné semble important au début du Néolithique et décroît avec l'intensification de l'agriculture (Subirà et Malgosa, 1996). Néanmoins, il faut préciser que ce schéma ne fait pas l'unanimité des chercheurs. Certains auteurs pensent au contraire que l'importance relative de l'agriculture vis-à-vis de l'élevage ne suivrait pas un profil linéaire au cours du Néolithique et qu'au Chasséen le poids de l'agriculture dans l'économie de subsistance serait peut-être moindre comparé à celui de l'élevage, et ce probablement jusqu'à l'âge du Bronze (Beeching *et al.*, 2000). Les analyses que nous avons réalisées ne permettent pas d'être aussi précis dans l'interprétation des données. Cependant, il est vrai que la place dans le niveau trophique de certains sujets humains, du Crès notamment, mais également les premiers résultats obtenus sur des sites garonnais (comm. pers. E. Herrscher), sont des observations qui rejoignent le point de vue de ces auteurs (*ibid.*).

B- L'ouest de la Méditerranée : essai d'étude diachronique

Plusieurs études isotopiques concernant le Néolithique mais surtout des périodes antérieures ont déjà été réalisées en prenant compte sur un même site, voire dans une région restreinte, plusieurs individus de périodes successives (*cf.* chap. I § B). Toutefois, les zones géographiques sur lesquelles se sont focalisés ces travaux sont essentiellement situées dans le nord de l'Europe. Des études plus ponctuelles ont aussi été effectuées dans la région ouest méditerranéenne (Fig. 97) (Francalacci, 1988 ; Richards *et al.*, 2001 ; Costa *et al.*, 2003 ; Pettitt *et al.*, 2003 ; Costa, 2004 ; Vigne, 2004 ; Georgi *et al.*, 2005 ; Garcia Guixé *et al.*, 2006). C'est avec grand intérêt que nous nous attachons maintenant à ces dernières, puisque certaines concernent des périodes antérieures au Néolithique (Paléolithique, Epipaléolithique et Mésolithique) que nous n'avons pas pu aborder dans notre travail. La prise en compte de ces études permet d'avoir une vision large dans le temps des modes de subsistance et de leur évolution. Notre approche diachronique se limite entre le Paléolithique supérieur et le Néolithique récent puisque actuellement, dans l'ouest de la Méditerranée, les périodes postérieures au Néolithique, en particulier l'Age du Bronze, n'ont pas encore fait l'objet d'études de ce type. Par ailleurs, aucune étude n'a pour le moment été réalisée sur les côtes du Maghreb, ce qui limite également notre approche géographique. L'essai d'une étude diachronique dans cette région a pour objectif de voir l'importance relative des milieux marins et terrestres dans les choix de subsistance et l'évolution de cette importance au cours du temps, en particulier entre le Paléolithique, le Mésolithique et le Néolithique.



Fig. 97. Localisation des sites archéologiques préhistoriques de l'ouest de la Méditerranée sur lesquels des études isotopiques ont été publiées.

1- Présentation des études

a. Gravettien, épigravettiens et mésolithiques d'Italie

a.1 Les Arene Candide

Malgré les nombreuses découvertes de restes humains datés du Paléolithique au Mésolithique en Italie⁸², très peu d'études isotopiques ont été menées à ce jour. Nous nous arrêtons sur celle du Prince (« Il Principe »), nom donné au squelette complet retrouvé en 1942, dans une sépulture de la grotte des Arene Candide en Ligurie (Formicola, 2005 ; Fig. 97 ; pour les détails sur ce site cf. chap. III § 3). Ce sujet est un adolescent de sexe masculin, d'environ 15 ans (Sergi *et al.*, 1974), dont le squelette, daté par carbone-14 de 23440 ± 190 BP (non calibré; OxA-10700; Pettitt *et al.*, 2003), était couvert d'un dépôt d'ocre (Sergi *et al.*, 1974). Par ailleurs, cette sépulture est exceptionnelle par la richesse des parures et des objets accompagnant le défunt (Fig. 98).



Fig. 98. Reconstitution de la sépulture du Prince des Arene Candide (www.iabrno.cz).

Une étude sur le régime alimentaire de ce sujet a été réalisée par l'analyse des isotopes stables du carbone et de l'azote dans le collagène osseux. D'après les résultats obtenus par Pettitt et collaborateurs (2003), cet adolescent semble avoir consommé environ 20 % à 25 % de protéines issues de ressources marines (Tab.), de manière saisonnière ou régulière tout au long de l'année.

Sur ce même site, des sépultures épigravettiennes, ont également été mises au jour au cours des fouilles menées par Bernabó Brea et Cardini (1940-1942) puis par Cardini (1970-1971) (Formicola, 2005). Dix-sept individus, immatures et adultes, sont inhumés dont certains sont associés à un riche mobilier (*ibid.*). Cet espace sépulcral a été daté par Formicola et collaborateurs (2005) entre 9925 ± 50 BP (OxA-10999) (soit $9460-9260$ BC cal.⁸³) et 10735 ± 55

⁸² Voir le Catalogue des Hommes fossiles italiens (édité par Alciati *et al.*, 2005).

⁸³ La date BC cal. proposée en italique a été calculée d'après Oxcal 4.0 (<http://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal/>).

BP (OxA-11003). Parmi ces individus, AC17⁸⁴ (adolescent ou adulte) et AC18 (jeune adulte) ont fait l'objet d'une étude isotopique réalisée par Francalacci (1988). Les résultats de ce travail (Tab.) ont conduit l'auteur à proposer pour ces défunts la consommation de ressources isotopiquement similaires à celles des sujets néolithiques du site (*cf.* détails de cette étude au chap. III § 3-b.). Le mode de subsistance des individus épigravettiens serait fondé sur la consommation mixte de ressources carnées terrestres et marines, hypothèse appuyée d'après l'auteur par les teneurs en zinc dosées dans la partie minérale de l'os (Francalacci, 1988).

Comme nous l'avons déjà discuté antérieurement (*cf.* chap. III § 3-d.), l'interprétation de ces résultats reste ambiguë. L'auteur propose un mode de subsistance dans lequel les ressources marines contribuent de façon non négligeable aux protéines de l'alimentation tout en étant conscient que le $\delta^{13}\text{C}$ enregistré dans les restes humains est proche de celui du collagène osseux de la faune terrestre. Outre une similarité évidente entre les données isotopiques des épigravettiens et néolithiques, que nous observons également avec les nouvelles données obtenues sur ce site (*cf.* chap. III § C-3), les ressources marines ne composent probablement pas une part importante des ressources protéiniques consommées par les sujets épigravettiens. Les $\delta^{13}\text{C}$ enregistrés dans le collagène de ces sujets sont en effet proches de ceux enregistrés dans celui de la faune terrestre herbivore et les $\delta^{15}\text{N}$ se situent dans la variabilité de valeurs attendues (par rapport aux résultats obtenus sur la faune terrestre) pour des consommateurs de ressources carnées terrestres. De plus, la forte teneur en zinc dosée dans les ossements témoigne, à notre avis, plus probablement d'une consommation de ressources carnées terrestres que de ressources marines (*cf.* chap. III § 3-e.).

a.2 La grotte d'Uzzo

En Sicile, la grotte d'Uzzo à Trapani (Fig. 97), située à 65 m d'altitude sur le promontoire de San Vito lo Capo, a livré 10 sépultures mésolithiques dont trois ont été datées : 9270 ± 100 BP pour le squelette Uzzo 5 (Borgognini Tarli, 1993) (soit 8650-8200 BC *cal.*⁸⁵) et 7500-6600 BP pour les squelettes Uzzo 1 et 2 (Belluomini et Delitala, 1983). Deux des individus inhumés ont fait l'objet d'une étude isotopique, également réalisée par Francalacci (1988). Ce travail indique que les sujets adultes U5 et U7 (Canci et Borgognini Tarli, 2005) ont des $\delta^{13}\text{C}$ du collagène osseux plus faibles (d'environ 1,5 ‰) et des $\delta^{15}\text{N}$ plus élevés (d'environ 1,6 ‰) que les sujets épigravettiens des Arene Candide (Tab. ; Francalacci, 1988). Ces résultats témoignent tout comme aux Arene Candide d'un mode de subsistance dans lequel les protéines consommées sont

⁸⁴ Nous avons déduit une correspondance entre les numéros des individus attribués dans les publications de référence, le catalogue des restes humains fossiles italiens et ceux indiqués dans les publications sur les études isotopiques. Toutefois, compte tenu du manque de précisions dans ces dernières nous ne sommes pas à l'abri d'une erreur. Cette remarque est valable pour les sites des Arene Candide et Uzzo.

⁸⁵ La date BC *cal.* proposée en italique a été calculée d'après Oxcal 4.0 (<http://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal/>).

essentiellement terrestres, malgré la présence de nombreux restes de mollusques marins sur le site (Francalacci, 1988).

	$\delta^{13}\text{C}$ collagène	$\delta^{15}\text{N}$ collagène	% estimé de ressources marines participant aux protéines de l'alimentation
<i>Paléolithique supérieur et Epipaléolithique</i>			
Arene Candide, Ligurie, Italie (Francalacci, 1988 ; Pettitt <i>et al.</i> 2003)			
Le Prince	-17,6	12,6	20-25 %
Reste humain épigravettien 17	-20,0	8,9	
Reste humain épigravettien 18	-18,9	9,1	
<i>Mésolithique</i>			
Grotte de l'Uzzo, Sicile, Italie (Francalacci, 1988)			
Reste humain mésolithique U5	-21,0	10,4	
Reste humain mésolithique U7	-21,0	10,7	
Herbivores (n = 2)	-20,9 ± 0,2 (1σ)	6,2 ± 0,2 (1σ)	
Bonifacio, Corse du Sud, France			
Araguina Sennola (Bocherens, 1999 ; Vigne, 2004)	-18,8	10,6	
Monte Leone (Pouydebat, 1997 ; Vigne, 2004)	-18,0	9,9	25-30 %
Rongeurs (n = 5) (Pouydebat, 1997 ; Vigne, 2004)	-21,7 ± 0,4 (1σ)	4,4 ± 0,6 (1σ)	
El Collado, Valence, Espagne (Garcia Guixé <i>et al.</i> , 2006)			
Ind.1	-19,5	10,2	
Ind. 2	-19,1	8,9	
Ind. 3	-17,6	10,2	
Ind.4	-17,6	12,8	> 25 %
Ind. 5	-18,2	10,6	
Ind. 6	-18,2	10,9	
Ind.7	-17,9	8,9	
Ind.12	-19,0	9,5	
Ind. 13	-18,1	10,4	
Herbivores (n = 5)	-19,0 ± 0,3 (1σ)	5,6 ± 0,4 (1σ)	
<i>Néolithique</i>			
Centre et sud de l'Italie (Georgi <i>et al.</i> , 2005)			
Samari 1	-19,3	9,6	
Samari E17b.17	-19,3	8,7	
Samari E17b.118	-19,1	7,6	
Ripatetta 92	-19,7	9,9	
Latronico	-19,9	8,0	
Catignano	-20,2	7,9	
Trasano 1	-19,4	8,4	
Trasano 2	-20,1	7,9	
Faune de Ripatetta (n = ?)	-21,3	6,0	
Brochtorff Circle, Gozo, Archipel de Malte (Richards <i>et al.</i> , 2001)			
Ind. P4411	-19,7	11,1	
Ind. P4405	-19,3	8,3	
Ind. P4409	-19,1	9,6	
Ind. P4413	-19,1	10,4	
Ind. P4414	-19,4	10,0	
Ind. P4412	-18,7	8,8	
Ind. P4410	-19,1	10,0	

Tab. 59. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des restes osseux humains et animaux étudiés dans l'ouest de la Méditerranée.

b. Les mésolithiques de Corse

Alors que sur le continent français le manque de restes osseux humains datés du Mésolithique est incontestable (*cf.* chap III § 2), les vestiges sont moins parcimonieux en Corse, même si le nombre de découvertes n'excède pas 5 individus, répartis sur 3 sites dont 2 à Bonifacio en Corse du Sud (David, 1999). Les sites de Monte Leone et de l'Araguina Sennola (Fig. 97) ont en effet livré des sujets du VIII^e millénaire a.v. J.-C. (*ibid.*) : un individu mal conservé dans le premier gisement ainsi que deux immatures attestés par quelques restes dentaires (les datations réalisées sur l'os de lapin-rat, *Prolagus sardus*, s'échelonnent de 8415 ± 65 BP, AA-18112, dans la couche 5 à 8050 ± 60 BP, AA-18108, dans la couche 2a ; Costa *et al.*, 2003) (soit de 7580-7330 BC cal. à 7170-6760 BC cal.⁸⁶) et un adulte de sexe féminin bien conservé dans le second (datation réalisée sur charbon : 8520 ± 150 BP ; Duday, 1975 ; David, 1999 ; Costa *et al.*, 2003) (soit 7970-7150 BC cal.). Ce dernier sujet a par ailleurs fait l'objet d'une étude paléoanthropologique exhaustive par H. Duday (1975). Des études isotopiques⁸⁷ ont été menées sur les restes osseux humains de l'individu adulte et des animaux de Monte Leone (Pouydebat, 1997) ainsi que sur la femme de l'Araguina Sennola⁸⁸ (Bocherens, 1999). Les résultats obtenus chez ces deux individus sont similaires (Tab.) et attestent de l'importance des ressources carnées terrestres, en particulier du lapin-rat, importance également attestée par les études archéozoologiques (Vigne, 2004) et d'une part de ressources marines (25-30 %) dans les protéines de l'alimentation (Pouydebat, 1997 ; Vigne, 2004).

c. Les mésolithiques de l'Espagne méditerranéenne

Le nombre de sites mésolithiques ayant fait l'objet d'études isotopiques en Italie et en France est réduit, et ce constat est identique sur la côte est espagnole. El Collado, dans la région de Valence (Fig. 97), est effectivement le seul gisement ayant livré des sépultures mésolithiques exploitées dans l'objectif d'une reconstitution paléalimentaire. Les tombes étudiées sont au nombre de 9, dont l'une est datée de 7570 ± 160 BP et 7640 ± 120 BP ; Aparicio, 1992 ; Pérez-Pérez *et al.*, 1995 ; Garcia Guixé *et al.*, 2006) (soit 6750-6075 BC cal. et 6760-6240 BC cal.). Ce travail, réalisé par Garcia Guixé et collaborateurs (2006) montre que la part des ressources marines contribuant aux protéines de l'alimentation est d'environ 25 % (Tab.). Toutefois, le régime alimentaire n'est pas identique pour tous les individus de la population. Pour certains

⁸⁶ Les dates BC cal. proposées en italique ont été calculées d'après Oxcal 4.0 (<http://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal/>).

⁸⁷ Nous remercions tout particulièrement Emmanuelle Pouydebat et Jean-Denis Vigne pour nous avoir autorisé à consulter et nous avoir communiqué des documents universitaires et du SRA non publiés concernant les sites de Monte Leone et de l'Araguina Sennola.

⁸⁸ Les données isotopiques concernant l'individu féminin de l'Araguina Sennola doivent être pris avec précautions car les analyses ont été réalisées sur l'os et non sur le collagène.

sujets, les ressources carnées terrestres constituent la quasi-totalité des protéines consommées (Garcia Guixé *et al.*, 2006).

e. Le Néolithique

L'étude que nous avons réalisée sur le Néolithique en région méditerranéenne a été complétée par l'analyse isotopique d'un reste osseux humain du site de Pendimoun (*cf.* détails sur le site au chap. III § B-1). Il s'agit d'un sujet daté au carbone-14 de 4740 ± 40 BP (environ 3680-3600 BC cal.) d'après les informations que nous a communiquées D. Binder, et que ce dernier attribue au Néolithique récent de la région. Les valeurs isotopiques de cet individu sont : $-19,9$ ‰ pour le $\delta^{13}\text{C}$ et $8,1$ ‰ pour le $\delta^{15}\text{N}$, c'est-à-dire similaires à celles de la plupart des individus du Néolithique ancien de ce site. On remarque également que, dans une zone géographique très restreinte, ces données sont identiques à celles de l'individu VBQ du Rastel.

Par ailleurs d'autres sites italiens datés du Néolithique ont récemment fait l'objet d'une telle étude. Georgi et collaborateurs (2005) ont analysé les éléments traces et les isotopes stables du carbone et de l'azote d'individus humains datés entre le VIII^e et le VI^e millénaire av. J.-C. provenant de 5 sites : Samari, Ripatetta, Catignano, Latronico et Trasano, principalement situés dans la moitié sud de la péninsule italienne (Fig. 97). Les résultats obtenus par les auteurs soulignent très clairement l'absence de ressources marines dans les protéines consommées par les sujets humains des différents sites (Tab.) ; les protéines de l'alimentation de ces individus proviennent essentiellement d'un environnement terrestre de type C_3 (*ibid.*) et l'étude des éléments traces (Sr/Ca et Zn/Ca de la partie minérale osseuse) atteste plus précisément une faible consommation des ressources animales au profit de ressources d'origine végétale (Bartoli, 1996 ; Georgi *et al.*, 2005).

Pour clore la présentation des études publiées, le site de Brochtorff Circle dans l'archipel de Malte (île de Gozo ; Fig. 97) a livré des sujets néolithiques pour lesquels des données isotopiques ont été obtenues par l'analyse du collagène osseux. Ce travail, réalisé par Richards et collaborateurs (2001), a permis de mettre en évidence l'absence de consommation de ressources marines de populations insulaires (Tab.), au profit des ressources issues de l'agriculture et principalement de l'élevage. Toutefois, les auteurs restent prudents vis-à-vis de ces premiers résultats puisque le faible nombre d'individus étudiés ne permet pas d'extrapoler ces choix de subsistance à l'ensemble de la population ; il est effectivement possible que ces sujets soient socialement distincts (élite ?) du reste de la population (Richards *et al.*, 2001).

2- Evolution des modes de subsistance des populations côtières

a. Du Paléolithique au Mésolithique

L'ensemble des études isotopiques présentées précédemment met en évidence deux modes de subsistance pré-néolithiques, distincts géographiquement. En Italie, particulièrement en Ligurie, la consommation de ressources marines n'est attestée qu'au Paléolithique supérieur, alors qu'à l'Épigravettien et au Mésolithique, le milieu marin ne semble pas être exploité de façon importante malgré les nombreux témoignages archéozoologiques (restes de mollusques et de poissons).

Deux questions sont sous-jacentes à ces résultats. La première est celle de la représentativité des restes humains étudiés et le problème du faible échantillon. La deuxième est l'évolution de l'exploitation du milieu marin au cours du Paléolithique. Le fait que l'adolescent du Paléolithique soit inhumé avec de nombreux objets de parure et des outils indique-t-il un statut social particulier en relation avec un mode de subsistance spécifique ? Aucune réponse n'est permise actuellement tant qu'un effectif plus important d'individus issu de différentes périodes n'aura pas été étudié. De plus, l'absence d'information isotopique sur les individus épigravettiens inhumés avec un matériel riche et abondant (AC5 et AC6) et sur les mésolithiques inhumés avec peu ou pas de matériel (U1 et U4) (Formicola, 2005 ; Canci et Borgognini Tarli, 2005), limite toute tentative de comparaison.

Les mésolithiques de la côte espagnole et ceux de la Corse exploitent le milieu marin de la même manière qu'au Paléolithique supérieur en Italie. Cette exploitation est également attestée à El Collado par les restes archéozoologiques qui témoignent de l'importance des mollusques marins et dulcicoles ainsi que des poissons dans les activités prédatrices alors que les mammifères terrestres sont faiblement représentés, peut-être parce que les ossements sont mal conservés (Aparicio, 1992 ; Garcia Guixé *et al.*, 2006). Toutefois, les comportements alimentaires d'autres individus d'El Collado se rapprochent de ce que l'on observe à l'Épigravettien et au Mésolithique en Italie, à savoir une consommation plus importante de ressources carnées terrestres (Fig. 99).

L'ensemble de ces données ne permet pas de proposer un schéma alimentaire général pour l'ouest de la Méditerranée. Pour des milieux écologiques assez similaires, différents modes de subsistance sont observables. Ces distinctions sont également visibles au sein d'un même site et les motivations de ces choix (*e.g.* influence du sexe ou la présence de biens matériels) ne sont pas perceptibles. On remarque toutefois que même si les ressources marines peuvent être consommées de façon non négligeable chez certains individus, **elles ne participent jamais au-**

delà de 30 % des protéines de l'alimentation, alors que pour la même période en Europe du Nord (e.g. Lidén, 1995 ; Richards *et al.*, 2003) ou sur la façade atlantique (e.g. Lubell *et al.*, 1994), elles y contribuent de façon plus importante.

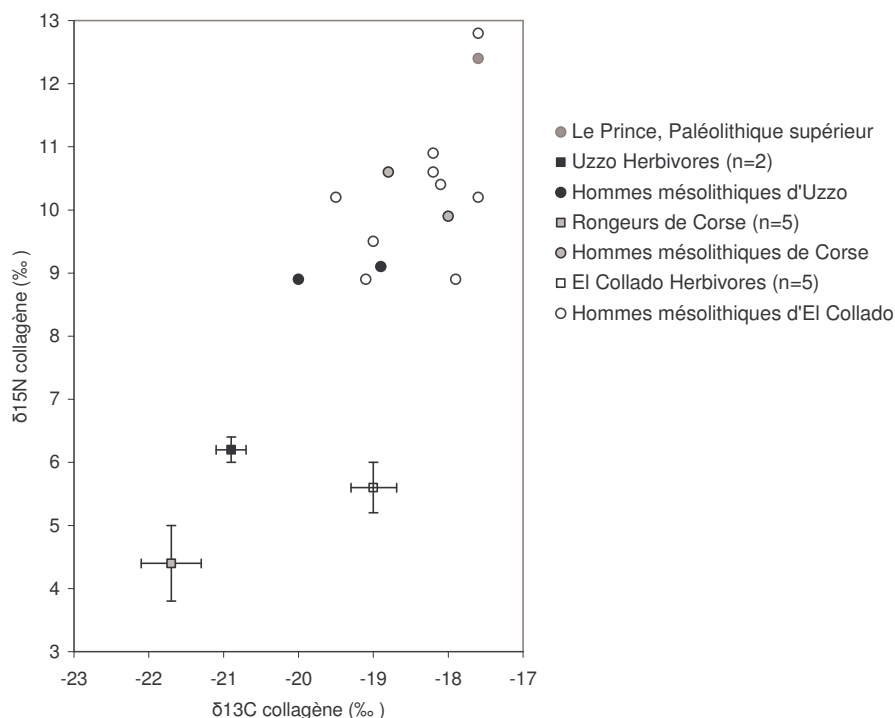


Fig. 99. δ¹³C et δ¹⁵N des populations humaines, moyenne et écart-type à 1 σ des herbivores, des sites du Paléolithique supérieur au Mésolithique de l'ouest de la Méditerranée.

b. Du Cardial au Néolithique récent

L'ensemble des résultats isotopiques obtenus sur le collagène des restes osseux de sites ligures (Provence et Ligurie), que nous avons détaillés précédemment (*cf.* chap. III. B-1 et C-3), indique une très forte homogénéité entre les individus du Néolithique ancien cardial de Pendimoun, l'individu VBQ du Rastel et les individus VBQ des Arene Candide. Les valeurs isotopiques obtenues sur l'individu du Néolithique récent de Pendimoun s'intègrent également dans cette variabilité (Fig. 100), suggérant que tout comme à Pendimoun et aux Arene Candide, les ressources carnées terrestres composent la majeure partie des protéines de son alimentation. Les ressources marines sont absentes ou quasiment absentes des ressources consommées au Néolithique sur les sites côtiers. Ce schéma alimentaire se retrouve chez les autres sujets néolithiques, de la péninsule italienne et de l'archipel de Malte, dont des valeurs isotopiques indiquent la prépondérance des ressources, animales et végétales, issues d'un écosystème terrestre de type C₃ alors que les produits marins semblent négligés (Fig. 100).

Contrairement à ce que l'on observe pour les périodes antérieures, le Néolithique semble être une période où les choix alimentaires des populations humaines sur les sites côtiers sont moins diversifiés, en terme d'écosystème exploité. Les protéines de l'alimentation proviennent en très grande partie des ressources carnées terrestres issues des produits laitiers et/ou de la viande, comme on peut le voir également dans l'archipel de Malte et dans le reste de l'Italie. Toutefois, on remarque que quelques individus dérogent à la règle en se distinguant par de faibles $\delta^{15}\text{N}$, suggérant une consommation moindre de protéines animales par rapport au reste de la population. Parler de diversité des choix alimentaires est dans ce cas précis un sujet équivoque car ces individus sont également atypiques comme en témoignent les informations biologiques et archéologiques qui leur sont associées (*cf.* chap. III. B-1 et C-3).

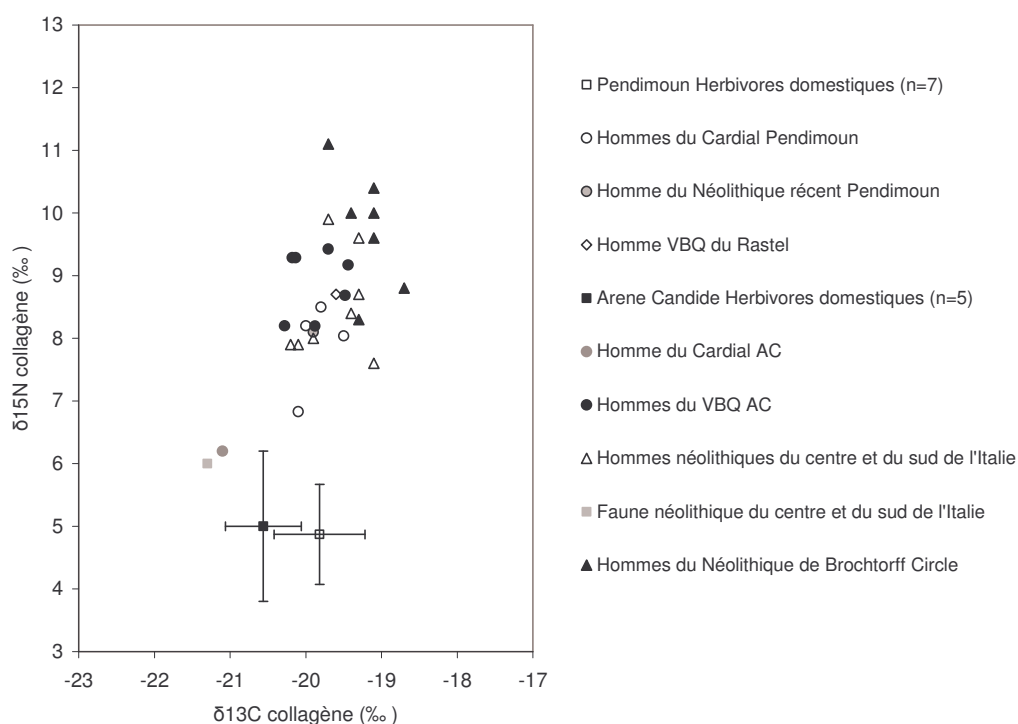


Fig. 100. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des populations humaines, moyenne et écart-type à 1σ des herbivores domestiques, des sites du Néolithique ancien cardial au Néolithique récent en Ligurie.

c. Du Paléolithique au Néolithique récent

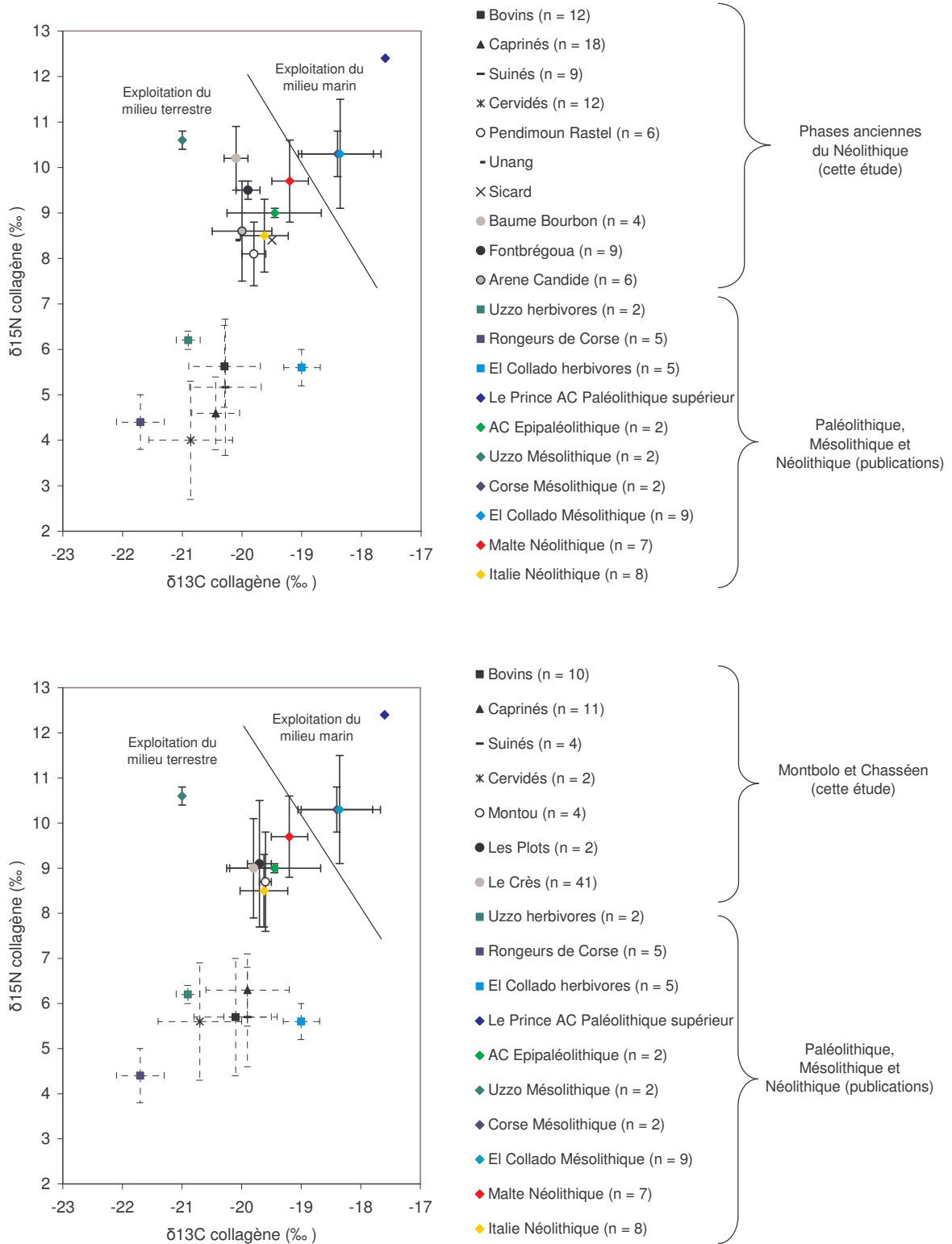


Fig. 101. $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$, moyenne et écart-type à 1 σ des herbivores et des populations humaines des phases anciennes du Néolithique et du Montbolo et Chasséen comparés aux données publiées sur le Paléolithique, le Mésolithique et le Néolithique.

Le bref aperçu des études isotopiques qui ont été réalisées du Paléolithique au Néolithique ainsi que les données obtenues à partir de notre étude dans l'ouest de la Méditerranée fournissent une base de données, certes encore incomplète, qui permet d'avoir une première approche diachronique sur les modes de subsistance des populations humaines préhistoriques de cette région en général, des zones côtières en particulier.

Deux informations essentielles se dégagent de ce corpus de valeurs isotopiques. La première est qu'il ne semble pas exister une évolution du schéma alimentaire très claire, comme par exemple une dichotomie du mode de subsistance entre les périodes préneolithiques et néolithiques, dans l'ensemble de l'ouest de la Méditerranée. Pour une région plus circonscrite, telle que la Ligurie (Provence et Ligurie italienne), le choix des ressources alimentaires est plus facilement discernable. En effet, dans cette zone géographique presque toutes les périodes sont représentées, au moins par un individu. On observe dans ce cas précis que les ressources protéiniques consommées, ressources issues du milieu terrestre, sont isotopiquement proches de l'Épipaléolithique au Néolithique récent. Ainsi, lors de la néolithisation, seul le mode d'approvisionnement change, de la prédation à la production. Mais d'une part le milieu exploité reste le même et, d'autre part, les ressources animales continuent à composer l'essentiel des protéines de l'alimentation. La deuxième information est l'observation d'une diversité des choix alimentaires au cours des périodes préneolithiques, que l'on ne retrouve pas à partir de la néolithisation. Le milieu marin fait l'objet d'une exploitation, probablement saisonnière, par certains individus, alors que d'autres se tournent préférentiellement vers les ressources terrestres.

La comparaison des populations humaines de plusieurs périodes du Néolithique de l'ouest de la Méditerranée avec celles des périodes antérieures (Fig. 101) confirme l'absence ou la rareté des ressources marines dans les protéines de l'alimentation des populations humaines. Contrairement aux Mésolithiques, le milieu terrestre constitue la quasi-totalité des ressources alimentaires des Néolithiques.

3- Synthèse d'une approche diachronique

La répartition chronologique des individus étudiés nous apporte une vision de l'ensemble des données isotopiques entre le Paléolithique supérieur et le Néolithique récent dans l'ouest de la Méditerranée en général, et en Ligurie en particulier.

Du Paléolithique supérieur au Mésolithique, l'acquisition des ressources participant aux protéines de l'alimentation s'effectue à la fois dans le milieu marin et terrestre. Toutefois, cette diversité des choix alimentaires est pondérée, d'une part, par le fait que certains sujets semblent n'exploiter que le milieu terrestre et, d'autre part, par le fait que les ressources marines,

lorsqu'elles font partie de l'alimentation, constituent au maximum un tiers des protéines consommées.

En Ligurie, l'homogénéité des valeurs isotopiques, observée au sein de chaque site archéologique, indique qu'il existe probablement une certaine « inertie » dans les choix de subsistance de l'Épigravettien au Néolithique moyen VBQ, voire jusqu'au Néolithique récent (Le Bras-Goude *et al.*, 2006b). Les relations entre l'Homme et le milieu marin durant ces périodes gardent cependant des zones d'ombre. La plupart des études archéozoologiques et archéologiques effectuées attestent de la présence de nombreux restes de mollusques et de poissons ainsi que la découverte d'hameçons sur le site des Arene Candide (Cade, 1999 ; Desse-Berset et Desse, 1999 ; Binder, 2003). Malgré cela, les résultats isotopiques montrent très clairement l'absence d'une consommation prépondérante de ressources marines, déduction également valable pour l'individu cardial des Arene Candide. Cette remarque n'est toutefois pas applicable pour l'adolescent du Paléolithique supérieur de ce site. L'hypothèse d'une pêche saisonnière près des côtes, de l'Épipaléolithique au Néolithique, évoquée notamment par l'étude des restes piscicoles (Desse-Berset et Desse, 1999) sur des sites néolithiques, reste cependant probable dans la mesure où cette activité serait sporadique comparée à l'acquisition des ressources terrestres. De plus, il est possible que l'importance des activités de pêche et de collecte de mollusques ait fluctué au cours de ces périodes, sachant que les individus étudiés ne représentent qu'un faible effectif des populations qui ont vécu dans cette région.



Synthèse générale et conclusion

L'étude de l'alimentation des populations néolithiques par le biais de l'analyse des isotopes stables (carbone et azote) du collagène osseux s'est réalisée autour de plusieurs points, qui nous ont permis d'apporter une contribution aux connaissances des cultures abordées. Il est toutefois important de rappeler que de nombreux biais sont présents et nous signalent que les résultats et les hypothèses sont soumis entre autres (1) aux effectifs, parfois très faibles, (2) à l'état de conservation (l'utilisation des résultats de la Baume Bourbon est à prendre avec beaucoup de précaution) et (3) à la représentativité des sites archéologiques (il existe une dichotomie à la fois géographique et culturelle entre les sites étudiés).

Le premier point que nous avons développé est l'utilisation et la comparaison de différentes méthodologies, appliquées dans deux laboratoires. Cette étude a montré qu'une **homogénéisation des méthodes d'extraction et des instruments analytiques est indispensable** si l'on souhaite comparer les résultats de plusieurs sites entre eux. Les conditions d'échantillonnage et la préservation du matériel n'étant pas toujours optimales, il faut tenir compte de ces paramètres pour orienter les choix de prélèvement et la problématique (étudier ou non une collection ou un individu, étudier l'os ou les dents ou bien les deux).

Le deuxième point est la relation entre l'individu, ses particularités biologiques, archéologiques et culturelles et ses choix alimentaires. Dans cette perspective, **des individus que l'on peut considérer comme atypiques ont été mis en évidence** au sein d'un groupe ou bien d'une période chronologique :

- L'individu 5BB des Arene Candide, qui se distingue très particulièrement du reste de la série par la présence d'une tuberculose, et d'une datation qui le ramène à la phase ancienne de la séquence chronologique néolithique de ce site. Ce jeune sujet consommait probablement des ressources dans lesquelles les protéines animales étaient peu présentes, issues d'un environnement particulier (*e.g.* ressources issues d'un milieu dont les conditions édaphiques sont plutôt acides), ou éventuellement de légumineuses, mais l'étude carpologique n'étaye pas cette supposition.
- L'individu F2 de Pendimoun semble avoir un statut social particulier au sein du site compte tenu d'une part du sort qui lui a été réservé (mise à mort ?) et d'autre part d'une probable consommation de ressources moins riches en protéines animales par rapport aux autres sujets étudiés sur ce site.
- L'individu adulte 10b du Crès se distingue à la fois du site et de l'ensemble des individus chasséens étudiés, par des valeurs isotopiques qui suggèrent la consommation régulière de ressources d'eau douce ou une origine géographique différente.

- Des individus féminins du site du Crès ont de faibles valeurs isotopiques qui nous amènent à penser que l'orientation des choix de subsistance était proche de celle des individus F2 et 5BB (*vide supra*).
- L'individu immature de Coste Rouge tient une place relativement haute dans la chaîne alimentaire, probablement due à la consommation importante de ressources animales terrestres.

Quelle est la place de ces individus au sein de la société dont ils font partie ? Si certaines observations biologiques ou archéologiques peuvent nous orienter sur des hypothèses, il n'est malheureusement pas possible d'établir clairement un lien entre choix de subsistance et statut social.

Dans un troisième point, l'analyse des résultats souligne **des stratégies de subsistance probablement différentes entre des groupes d'individus**, au sein d'une population ou d'une culture. Ces différences isotopiques s'expriment en fonction de plusieurs paramètres, principalement biologiques. En effet, l'observation de l'ensemble des données obtenues pour les différentes périodes étudiées du Néolithique suggère que les individus féminins ont dans l'ensemble un $\delta^{15}\text{N}$ plus faible que les sujets de sexe masculin du même site. Des différences alimentaires entre les hommes et les femmes, notamment en ce qui concerne la consommation de protéines animales, sont possibles. Toutefois, les effectifs des individus sexés qui ont pu être étudiés sont faibles, voire très faibles en ce qui concerne les phases anciennes du Néolithique et d'autres analyses sont nécessaires si l'on souhaite mettre en évidence la pertinence de ce résultat.

Concernant l'âge au décès, aux phases anciennes du Néolithique l'ensemble des résultats obtenus tend à montrer que les jeunes individus, en particulier les immatures, se distinguent de la population par des valeurs isotopiques de l'azote faibles. Pour les périodes suivantes, cette même observation est valable sur le site de Montou. Il est probable que l'alimentation de ces jeunes sujets soit différente des autres individus, différente en terme de quantité (les jeunes sujets consomment moins de protéines animales) et/ou de qualité (les sujets adultes ou plus âgés consomment de manière plus régulière que les jeunes individus des protéines issues de ressources d'un niveau trophique élevé, tels que des carnivores ou de très jeunes herbivores non sevrés). Cependant, la particularité pathologique de l'adolescent 5BB des Arene Candide et sa datation, plus ancienne que les autres sujets, ainsi que la médiocre qualité du collagène des individus de la Baume Bourbon invitent à rester prudent vis-à-vis de ces observations. Le faible nombre d'individus étudiés limite également cette étude. Par ailleurs cette hypothèse n'est pas valable sur le site du Crès où un effectif plus important d'immatures a pu être étudié. Ajoutons toutefois que quelle que soit la période considérée, la comparaison des données isotopiques en fonction de

l'âge au décès des sujets, aurait probablement été plus pertinente si les individus féminins et masculins avaient pu être étudiés indépendamment. En ce qui concerne les immatures, aucune donnée sur l'estimation du sexe n'est disponible en raison de l'absence de méthodes ostéologiques fiables actuellement (Majo, 1996 ; Cox et Mays, 2000 ; Scheuer et Black, 2000 ; Coqueugniot *et al.*, 2003). Pour les adultes, ce type d'analyse nécessite un nombre suffisant d'individus sexés avec fiabilité, ce qui n'est pas le cas dans notre échantillon. L'état sanitaire nous a fourni peu d'informations comparables sur l'ensemble des périodes étudiées pour le Néolithique. Néanmoins, quelle que soit l'époque considérée, l'association entre des valeurs isotopiques de l'azote élevées et la présence de tartre et/ou une parodontopathie suggère une alimentation riche en protéines animales où les produits laitiers (en particulier des préparations de type fromage dont la teneur en protéines est plus élevée que le lait) sont susceptibles d'y prendre une part importante.

Concernant les relations possibles entre les paramètres archéologiques (éléments de pratiques funéraires) et les choix de subsistance, il est légitime de se poser la question des différences de statuts sociaux entre les groupes et des possibles relations avec un traitement funéraire particulier. Si l'hypothèse d'une relation entre hiérarchie et accès aux ressources alimentaires est susceptible d'exister, un exemple l'illustre bien avec la sépulture de l'enfant de Coste Rouge. L'architecture funéraire, le soin des offrandes apportées au défunt et les résultats isotopiques sont autant d'aspects qui laissent supposer que choix de subsistance et relations sociales et économiques peuvent être liés. Toutefois, il est vrai que cet individu appartient à une période plus récente du Chasséen que la plupart des individus du Néolithique moyen étudiés.

Précisons également qu'une division du travail et la spécialisation des activités économiques, au sein même d'une population pourraient expliquer les différences observées dans les choix de subsistance, notamment entre les hommes et les femmes, mais aussi entre les distinctions de pratiques funéraires (type de sépulture, nombre d'individus inhumés, position du corps). L'hypothèse de mouvements de population (de certains individus), liés entre autres à la circulation de produits bruts et/ou manufacturés, doit également faire l'objet d'une attention particulière, ces migrations pouvant être liées à un statut socio-économique spécifique au sein de la population (*e.g.* « sédentaires »/« nomades »).

Gardons tout de même à l'esprit que l'ensemble des hypothèses proposées doivent pour le moment **être considérées comme des pistes de réflexion et nous orienter dans le choix des sites à étudier**. De plus, l'effectif de la population, l'état de conservation macroscopique des ossements et les parties anatomiques préservées doivent faire l'objet d'une attention particulière.

Enfin, le dernier aspect de ce travail a porté sur une analyse à plus longue échelle dans le temps et dans l'espace. L'ensemble de l'étude analytique a mis en évidence **une évolution des choix alimentaires au cours des phases chronologiques étudiées**. La consommation de protéines animales s'est révélée être importante dans les phases anciennes du Néolithique, et diminue dans l'ensemble au Chasséen. Cette observation rejoint par ailleurs les données archéologiques, à travers lesquelles l'expansion de l'agriculture est mise en évidence au Chasséen. Cette hypothèse est cependant à nuancer car peu de sites archéologiques ont été étudiés. Par exemple, le site du Crès fournit la plupart des résultats pour le Chasséen. Toutefois, il n'en reste pas moins vrai que certains individus de cette période ont probablement consommé des ressources dont les compositions isotopiques des protéines sont proches de celles consommées par les individus des phases plus anciennes.

Associé à l'ensemble de ces résultats, ce travail a également souligné un fait dans les choix économiques de ces populations : **l'absence d'une consommation fréquente des ressources marines**, dès le Néolithique ancien, voire aux périodes précédentes. Si cette observation n'est pas surprenante pour les sites situés à l'intérieur des terres, et dans une moindre mesure les sites côtiers actuels du Languedoc et des Bouches-du-Rhône (accès différents aux ressources marines selon les fluctuations du niveau marin et la ligne de côte), il n'en est pas de même pour les sites côtiers de Ligurie et de Provence. Les individus de Pendimoun, du Rastel et des Arene Candide avaient la possibilité d'exploiter le milieu marin, de manière relativement aisée, et ce tout au long du Néolithique, mais l'étude isotopique illustre au contraire une orientation principalement terrestre dans les choix d'acquisition de subsistance. Ces résultats ne sont pas appuyés par les données malacologiques et ichtyologiques qui soulignent la présence non négligeable du milieu marin dans les activités économiques de ces sites. Se pose alors la question, d'une part, de la représentativité des restes de faune sur les sites archéologiques et, d'autre part, des relations entre les individus inhumés et les groupes humains qui ont vécu sur ces sites, et donc de la représentativité des sujets inhumés en particulier pour le Néolithique ancien.

Ce résultat rejoint ceux apportés par les études réalisées en Europe du nord et sur la côte Atlantique au cours de la transition Mésolithique-Néolithique. Au Portugal, alors que les Mésolithiques consomment des ressources d'origine marine ou mixte (marine et terrestre), c'est l'écosystème terrestre qui fournit l'ensemble des ressources alimentaires des Néolithiques (Lubell *et al.*, 1994). Ce schéma se retrouve également pour d'autres régions côtières d'Europe (Grande Bretagne et Danemark ; *e.g.* Richards et hedges, 1999 ; Richards *et al.*, 2003c). En revanche, contrairement à ce que l'on observe sur ces sites nord-européens, les quelques données isotopiques obtenues sur des sujets mésolithiques espagnols et corses montrent un attrait assez modéré du milieu marin dans les choix alimentaires. L'ensemble des travaux dans l'ouest de

l'Europe tend à mettre en évidence des transitions de mode de subsistance au cours de la Néolithisation identiques dans la forme (passage d'une alimentation à composante marine à une alimentation très majoritairement terrestre) mais variables dans le fond (changements plus importants dans le nord de l'Europe et sur la côte Atlantique).

L'hypothèse de l'existence de tabous alimentaires au Néolithique, notamment vis-à-vis des ressources marines, proposée par Thomas (2003) est intéressante, mais n'explique pas la présence des restes halieutiques sur les sites néolithiques côtiers, ni l'observation de la faible exploitation de ces ressources dans l'ouest de la Méditerranée dès le Mésolithique, même chez les populations insulaires. Vis-à-vis de ces résultats, l'hypothèse de l'influence du potentiel écologique terrestre nous semble intéressante. Lorsque les ressources terrestres sont abondantes il est possible que les activités de pêche et de collecte de mollusques marins soient moins fréquentes. La domestication aidant, les néolithiques devaient, par l'accroissement du système de production, se trouver la plupart du temps dans cette situation. La présence de restes de faunes marines dans les couches néolithiques pourrait néanmoins attester une activité prépondérante mais sur un laps de temps relativement bref au cours des saisons.

L'utilisation des isotopes stables du carbone et de l'azote dans le collagène osseux a permis **de mettre en évidence des voies de recherches à exploiter avec intérêt**. L'évolution des choix de subsistance au cours du Néolithique dans le nord-ouest de la Méditerranée, ainsi que les différences inter-individuelles répondant à des critères biologiques, et dans une moindre mesure archéologiques (éléments archéologiques liés au défunt), et peut-être socio-culturels, sont effectivement des hypothèses qui méritent une attention particulière dans les études à venir.

* * *

Perspectives

Au cours de ce travail, beaucoup de questions et d'hypothèses ont émergé. Des voies de recherches nécessitent ainsi d'être exploitées, autant sur le plan chronologique que géographique ou culturel.

Concernant les sites étudiés, certains aspects devraient être développés :

- effectuer des datations radiométriques supplémentaires ;
- compléter des études anthropologiques (*e.g.* pathologie) qui permettront d'améliorer les analyses réalisées sur les séries étudiées ;
- engager des analyses sur d'autres individus pathologiques, et notamment ceux qui ont contracté la tuberculose, afin de mieux comprendre les relations possibles entre pathologie invalidante et accès aux ressources alimentaires.
- réaliser des analyses isotopiques supplémentaires sur les espèces fauniques déjà étudiées afin d'augmenter les effectifs et d'améliorer nos connaissances sur les variabilités isotopiques spécifiques ;
- initier de nouvelles analyses isotopiques sur des espèces animales et végétales non étudiées dans ce travail : la tortue cistude (à Fontbrégoua), les glands (à Pendimoun) ou les escargots (dans les Pyrénées) par exemple, afin de voir leur rôle potentiel dans l'alimentation humaine.

Les aspects chronologiques e t bio- culturels

Nous avons vu au cours de l'étude des sites, en particulier lors des analyses diachroniques, que des hiatus chronologiques sont présents, d'une part dans les phases anciennes et moyennes du Néolithique et d'autre part dans des phases antérieures au Néolithique. Ces hiatus sont principalement dus à l'absence ou à l'effectif très réduit du matériel osseux humain dans cette région, notamment en ce qui concerne le Mésolithique et l'*Impressa* qui sont les périodes charnières de la néolithisation en Méditerranée occidentale.

Au cours des recherches de collections, nous avons pu obtenir l'autorisation et l'accès à des restes humains datés du Mésolithique :

- Le Daladé (Vaucluse). Le site de grotte contenant un squelette humain fut découvert en 1999. Le crâne de l'individu a été daté du VIII^e millénaire av. J.-C. (C. Bouville et J. Buisson-Catil comm. pers.). Une analyse isotopique a été réalisée en 2005 sur un fragment de squelette axial, obtenu grâce au concours de J. Buisson-Catil et C. Bouville. Malheureusement le fragment osseux était très mal conservé et le collagène extrait n'était pas de bonne qualité pour utiliser les valeurs isotopiques obtenues. La demande d'un

second échantillonnage sur une partie anatomique non spongieuse sera effectuée prochainement.

- Torre d'Aquila (Haute Corse). Le site est un abri, fouillé par J. Magdeleine en 1986 et 1987, contenant plusieurs couches archéologiques, dont une sépulture datée du Mésolithique (Magdeleine, 1995). Une autorisation de la CIRA pour analyser un fragment osseux du squelette a été obtenue au printemps 2006, pour une durée de 1 an. Actuellement, la recherche de la localisation précise de ce squelette est en cours avec l'aide du personnel du Musée de Sartène.

L'étude de ces deux individus permettra de fournir des informations sur les modes de subsistance des dernières populations de chasseurs-cueilleurs en Méditerranée occidentale, à la fois insulaires et continentales. Ces données pourront être confrontées aux études isotopiques déjà réalisées sur des individus mésolithiques en Corse et de la côte espagnole. Enfin, pour compléter ce type d'étude, nous espérons retrouver et étudier le squelette mésolithique de la Baume de Montclus (Gard), fouillé et étudié par Escalon de Fonton entre 1956 et 1967 (Oakley *et al.*, 1971) et par Ferembach (1974).

Pour les périodes néolithiques, nous souhaitons continuer à développer le travail mené sur d'autres séries du Néolithique ancien et moyen, et ce autant dans la zone languedocienne et pyrénéenne (et espagnole) que liguro-provençale, ainsi que dans les zones insulaires et dans la région côtière du Maghreb :

- plusieurs sites chasséens peuvent être étudiés en France, tels que Najac à Siran (Hérault), dans lequel des restes de plusieurs individus étaient présents dans des tombes en coffre (Mahieu, 1992), et la Cauna de Bélesta (Pyrénées-Orientales) qui compléteraient la série Montbolo. La région catalane offre également des gisements intéressants, où les individus du Néolithique moyen sont inhumés en ciste, en grotte (Cova del Toll), en contexte minier (Can Tintorer), mais également en fosse. Plus particulièrement le site de la Bòbila Madurell a livré de nombreuses fosses sépulcrales et sur lequel des analyses d'éléments traces ont déjà été réalisées (Subirà et Malgosa, 1996). Ces recherches apporteraient un complément d'information à l'étude engagée dans le cadre de l'ACR dirigée par J. Vaquer, notamment en ce qui concerne les possibles différences entre les individus inhumés dans les tombes en coffre par rapport à ceux inhumés dans des structures plus simples. L'étude d'un site chasséen de Provence Les Martins à Roussillon (Vaucluse), ainsi que d'autres gisements en cours de fouilles dans la région languedocienne (site de Valros ; comm. pers. G. Loison) serait également pertinente afin d'avoir une vision géographiquement plus étendue de la variabilité isotopique des populations chasséennes méridionales.

- L'ensemble funéraire de l'Araguina Sennola (Corse du Sud) est un abri, situé à 200 m du rivage actuel et fouillé entre 1969 et 1976 par F. de Lanfranchi et M.-C. Weiss. Sur ce site, outre le célèbre squelette mésolithique de la dame de Bonifacio (Duday, 1975), les restes d'un individu néolithique (6650-6430 BP) sont également présents et conservés au Musée de Lévi (Bonifacio) (Weiss, 1998 ; David, 1999). L'étude de cet individu est intéressante, d'une part, pour voir l'évolution possible des modes de subsistance de populations sur un même site et, d'autre part, pour comparer ces données avec celles obtenues sur le continent. Une autorisation de la CIRA, d'une durée de 1 an, a été obtenue ainsi que l'accord de la conservatrice du Musée de Lévi pour effectuer des analyses sur ce sujet, que nous engagerons dès que possible.
- Nous souhaiterions également effectuer des analyses isotopiques sur d'autres sites de Ligurie et particulièrement du Néolithique moyen VBQ. Notre intérêt se porte en premier lieu sur le site de l'Arma Dell'Aquila, dans lequel le squelette d'une femme âgée, atteinte d'une tuberculose osseuse, est présent. Ces données permettraient d'une part de compléter les informations obtenues pour le VBQ et d'autre part de comprendre les possibles relations entre maladie, comportement alimentaire et physiologie. Grâce à l'aide de V. Formicola, de la *Soprintendenza per i Beni Archeologici della Liguria* et le laboratoire de Paléanthropologie et de Paléobiologie humaine de la Sapienza (Rome), ce travail, ainsi que l'acquisition de nouveaux sites dans cette région (*e.g.* La Pollera), pourrait être engagé ultérieurement.

Toujours dans l'optique d'un travail diachronique, il pourrait être intéressant de développer cette étude sur des périodes post-néolithiques et notamment jusqu'à l'Âge du Bronze. Cette perspective de travail permettrait d'obtenir des éléments d'informations concernant les poids respectifs de l'agriculture et de l'élevage dans ces sociétés en mutation jusqu'à une période où la sédentarisation semble complètement acquise (Beeching *et al.*, 2000).

Des perspectives de travail s'offrent également sur les questions de l'allaitement et de l'âge au sevrage. Cet aspect bio-culturel peut être étudié dans le cas où un nombre suffisant de très jeunes enfants est disponible. Ce type de travail nécessite également une bonne conservation de plusieurs parties anatomiques (dents et ossements) afin de pouvoir réaliser un multi-échantillonnage sur des tissus dont la vitesse de remodelage diffère (Balasse, 1999 ; Herrscher, 2003). Enfin, de nouvelles données biologiques et plus particulièrement pathologiques (*e.g.* caries, hypoplasies) seraient intéressantes à mettre en relation avec les résultats isotopiques obtenus afin d'améliorer la réflexion sur les liens possibles entre alimentation et état sanitaire.

Les aspects méthodologiques

La question d'une étude intra-individuelle n'a pas été réellement abordée dans ce travail. Néanmoins, ce type d'approche serait très pertinent. En effet, le multiple échantillonnage de tissus dentaires et osseux (Balasse, 1999 ; Herrscher 2003), permet de connaître les variations possibles du régime alimentaire entre différentes périodes de la vie d'un individu, de l'enfance à l'âge adulte. Connaître ces variations peut apporter un certain nombre de renseignements utiles à notre problématique :

- L'exogamie ? Nous avons remarqué que sur plusieurs sites archéologiques néolithiques, des différences isotopiques existent entre les hommes et les femmes. La comparaison de valeurs obtenues sur des tissus dentaires, formés durant l'enfance et l'adolescence, et du tissu osseux, formé durant les dernières années de la vie de l'individu permettrait de voir (1) de possibles changements alimentaires, notamment entre la fin de l'enfance et l'âge adulte, et (2) si ces modifications touchent plus particulièrement une partie de la population (*e.g.* les femmes). Ces variations, si elles s'observent, peuvent cependant résulter de plusieurs facteurs : un changement alimentaire sans mobilité de l'individu ou une évolution alimentaire due à un changement de l'environnement fréquenté et potentiellement une mobilité de l'individu.
- Les mouvements de populations (autre que ceux concernant l'exogamie) ? Sur le même principe que nous venons d'évoquer, l'observation possible d'une évolution alimentaire au cours de la vie de l'individu peut mettre en évidence des mouvements de population non spécifiques (sans distinctions de sexe) pouvant être liés à une activité économique spécialisée, comme le transfert des matières premières et/ou de produits manufacturés.

Enfin, bien que l'utilisation de modèles mathématiques pour déterminer la proportion de ressources dans l'alimentation protéinique n'a pas été faite dans ce travail, cet aspect pourrait être développé ultérieurement. Une étude plus précise des proportions alimentaires, individuelles et collectives, consommées apporterait de nouveaux éléments à la discussion. Des analyses supplémentaires sur des restes de faunes, ichtyologiques notamment, et de végétaux sont indispensables.

* * *

BIBLIOGRAPHIE

Ader (M.) 1999, *Histoire isotopique de l'azote organique de la diagenèse au métamorphisme*, Thèse de doctorat, Université Paris VI, Paris, 345 p.

Albarède (F.) 2001, *La géochimie*, Gordon and Breach Science Publishers, Paris, 190 p.

Alciati (G.), Pesce Delfino (V.), Vacca (E.) (éds.) 2005, *Catalogue of italian fossil human remains from the Palaeolithic to the Mesolithic. Supplement to the Journal of Anthropological Sciences, Rivista di Anthropologia*, Istituto Italiano di Antropologia, Rome, 184 p.

Allègre (C.-J.), Michard (G.) 1973, *Introduction à la géochimie*, Presses Universitaires de France, Paris, 218 p.

Ambrose (S.H.) 1986, Stable carbon and nitrogen isotope analysis of human and animals diet in Africa, *Journal of Human Evolution* 15: 707-731.

Ambrose (S.H.) 1990, Preparation and characterisation of bone and tooth collagen for isotopic analysis, *Journal of Archaeological Science* 17: 431-451.

Ambrose (S.H.) 1991, Effects of diet climate and physiology on nitrogen isotope abundances in terrestrial foodwebs, *Journal of Archaeological Science* 18: 293-317.

Ambrose (S.H.) 1993, Isotopic analysis of paleodiets: methodological and interpretative considerations, in M.K. Sandford (éd.), *Investigation of ancient human tissue. Chemical analyse in anthropology*, Gordon and Breach Science Publishers, Langhorne, p. 59-130.

Ambrose (S.H.) 1998, Prospects for stable isotopic analysis of later Pleistocene hominid diets in west Asia and Europe, in T. Akazawa, K. Aoki, O. Bar-Yosef (éds.), *Neandertals and modern humans in western Asia*, Plenum Press, New York, p. 277-289.

Ambrose (S.H.) 2000, Controlled diet and climate experiments on nitrogen isotope ratios of rats, in S.H. Ambrose, M.A. Katzenberg (éds.), *Biogeochemical approaches to paleodietary analysis*, p. 243-257.

Ambrose (S.H.), Butler (B.M.), Hanson (D.B.), Hunter-Anderson (R.L.), Krueger (H.W.) 1997, Stable isotopic analysis of human diet in the Marianas archipelago, Western Pacific, *American Journal of Physical Anthropology* 104: 343-361.

Ambrose (S.H.), DeNiro (M.J.) 1986, The isotopic ecology of East African mammals, *Oecologia* 69: 395-406.

Ambrose (S.H.), DeNiro (M.J.) 1987, Bone nitrogen isotope composition and climate, *Nature* 325: 201.

Ambrose (S.H.), DeNiro (M.J.) 1989, Climate and habitat reconstruction using stable Carbon and Nitrogen isotope ratios of collagen in prehistoric herbivore teeth from Kenya, *Quaternary Research* 31: 407-422.

Ambrose (S.H.), Norr (L.) 1993, Experimental evidence for the relationship of the carbon isotope ratios of whole diet and dietary protein to those of bone collagen and carbonate, in J.B. Lambert, G. Grupe (éds.), *Prehistoric human bone. Archaeology at the molecular level*, Springer-Verlag, Berlin, p. 1-37.

Ambrose (S.H.), Krigbaum (J.) 2003, Bone chemistry and bioarchaeology, *Journal of Anthropological Archaeology* 22: 191-199.

Ambrose (S.H.), Buikstra (J.) et Krueger (H.W.) 2003, Status and gender differences in diet at Mound 72 Cahokia revealed by isotopic analysis of bone, *Journal of Anthropological Archaeology* 22: 217-226.

Ammerman (A.J.), Cavalli-Sforza (L.L.) 1984, *The Neolithic transition and the genetic of populations in Europe*, Princeton University Press, Princeton, 176 p.

Aparicio (J.) 1992, Los orígenes de Oliva, *Real Academia de Cultura Valenciana, Aula de Humanidades y Ciencias, Serie Histórica*, 9: 75-143.

Arbogast (R.M.), Hachem (L.), Tresset (A.) 1991, Le Chasséen du Nord de la France : les données archéozoologiques, in A. Beeching, D. Binder, J.C. Blanchet, C. Constantin, J. Dubouloz, R. Martinez, D. Mordant, J.P. Thevenot, J. Vaquer (éds.), *Identité du Chasséen : actes du colloque international de Nemours (17-18-19 mai 1989)*, Association pour la promotion de la recherche archéologique en Ile-de-France, Nemours, p. 351-367.

Arbogast (R.M.), Méniel (P.), Yvinec (J.H.) 1987, *Une histoire de l'élevage. Les animaux et l'archéologie*, Errance, Paris, 103 p.

Armelagos (G.J.), Harper (K.N.) 2005, Genomics at the origins of agriculture (part two), *Evolutionary Anthropology* 14: 109-121.

Arobba (D.), Deferrari (G.), Nisbet (R.) 1997, Carpological investigation at the cave of Arene Candide: an impression of caryopsis of Barley on ceramic sherd, in R. Maggi (éd.), *Arene Candide: a functional and environmental assessment of the Holocene sequence (excavation Bernabò Brea-Cardini, 1940-1950)*, Memorie dell'Istituto Italiano di Paleontologia Umana, Rome, p. 119-123.

Arreborg (J.), Heinemeier (J.), Lynnerup (N.), Nielson (H.L.), Rud (N.), Sveinbjörnsdóttir (A.E.) 1999, Change of diet of the Greenland Vikings determined from stable carbon isotope analysis and ¹⁴C dating of their bones, *Radiocarbon* 41 : 157-168.

Aufderheide (A.C.), Rodriguez-Martin (C.), Langsjoen (O.) 1998, *The Cambridge encyclopedia of human paleopathology*, Cambridge University Press, Cambridge, 478 p.

Augereau (A.), Leroyer (C.), Tresset (A.) 1993, Le transition Néolithique ancien/Néolithique moyen dans la vallée de la Petite Seine : contribution des études lithiques, zooarchéologiques et palynologiques., in J.-C. Blanchet, A. Bulard, C. Constantin (éds.), *Le Néolithique au quotidien. Actes du 16e colloque interrégional sur le Néolithique, (Paris, 5-6 novembre 1989)*, D.A.F., Paris, p. 94-105.

Bahn (P.G.) 1990, Eating people is wrong, *Nature* 348: 395.

Bailloud (G.), Mieg de Boofzheim (P.) 1976, *Les civilisations néolithiques*, A. et J. Picard, Paris, 244 p.

Balasse (M.) 1999, *De l'exploitation du lait au Néolithique moyen en Europe tempérée. Examen des modalités de sevrage des bovins par l'analyse isotopique des ossements archéologiques*, Thèse de Doctorat, Université Paris VI, Paris, 244 p.

Balasse (M.), Bocherens (H.), Tresset (A.), Mariotti (A.), Vigne (J.D.) 1997, Emergence de la production laitière au Néolithique ? Contribution de l'analyse isotopique d'ossements de bovins archéologiques, *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2, Sciences de la terre et des planètes* 325: 1005-1010.

Balasse (M.), Ambrose (S.H.), Smith (A.B.), Price (T.D.) 2002, The seasonal mobility model for prehistoric herders in the south-western Cape of South Africa assessed by isotopic analysis of sheep tooth enamel, *Journal of Archaeological Science* 29: 917-932.

Balasse (M.), Bocherens (H.), Mariotti (A.) 1999, Intra-bone variability of collagen and apatite isotopic composition used as evidence of a change of diet, *Journal of Archaeological Science* 26: 593-598.

Balasse (M.), Tresset (A.), Bocherens (H.), Mariotti (A.), Vigne (J.-D.) 2000, Un abattage "post-lactation" sur des bovins domestiques néolithiques. Etude isotopique des restes osseux du site de Bercy (Paris, France), *Ibex. Journal of Mountain Ecology/Anthropozoologica* 5: 39-48.

Balasse (M.), Tresset (A.), Dobney (K.), Ambrose (S.H.) 2005, The use of isotope ratios to test for seaweed eating in sheep, *Journal of Zoology* 266: 283-291.

Balter (V.), Simon (L.), Fouillet (H.), Lécuyer (C.) 2005, Box-modelling of $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ in mammals, *Oecologia* 147: 212-222.

Barnett (W.K.) 2000, Cardial pottery and the agricultural transition in mediterranean Europe, in T.D. Price (éd.), *Europe's first farmers*, Cambridge University Press, Cambridge, p. 93-116.

Barral (L.) 1958, Contribution à la connaissance des populations néo-énéolithiques de Basse-Provence : l'homme cardial de Castellar, abri Pendimoun (Alpes-Maritimes), *Bulletin du Musée d'Anthropologie préhistorique de Monaco* 5 : 135-153.

Barral (L.), Primard (S.) 1962, L'homme du Rastel, *Bulletin du Musée d'Anthropologie préhistorique de Monaco* 9: 171-190.

Barrett (J.H.), Richards (M.P.) 2004, Identity, gender, religion and economy: new isotope and radiocarbon evidence for marine resource intensification in Early historic Orkney, Scotland, UK, *European Journal of Archaeology* 7: 249-271.

Barricot (N.A.) 1969, Human nutrition: evolutionary perspective, in P.J. Ucko, G.W. Dimbleby (éds.), *The domestication and exploitation of plants and animals*, Gerald Duckworth, Londres, p. 525-529.

Beeching (A.), Moulin (B.) 1983, Sédiments anthropiques et coprolithes animaux, *Bulletin de la Société préhistorique française* 80: 72-74.

Beeching (A.), Crubézy (E.) 1998, Les sépultures chasséennes de la vallée du Rhône, in J. Guilaine (éd.), *Sépultures d'Occident et genèses des mégalithismes : 9000-3500 avant notre ère. Séminaire du Collège de France*, Errance, Paris, p. 147-163.

Beeching (A.), Berger (J.-F.), Brochier (J.L.), Ferber (F.), Helmer (D.) Sidi Maamar (H.) 2000, Chasséens : agriculteurs ou éleveurs, sédentaires ou nomades ? Quels types de milieux, d'économie et de sociétés ?, in M. Leduc, N. Valdeyron et J. Vaquer (éds.), *Sociétés et espaces. Rencontres méridionales de préhistoire récente, troisième session, Toulouse (6-7 novembre 1998)*, Archives d'Ecologie Préhistorique, Toulouse, p. 59-79.

Belluomini (G.), Delitala (L.) 1983, Datazione dei resti ossei del Pleistocene superiore e dell'Olocene dell'area del Mediterraneo con la raceizzazione degli aminoacidi, *Geografica Fisica e Dinamica del Quaternario*, 6: 21-30.

Ben-David (M.), Flynn (R.W.), Schell (D.M.) 1997, Annual and seasonal changes in diets of martens: evidence from stable isotope analysis, *Oecologia* 111: 280-291.

Ben-David (M.), Schell (D.M.) 2001, Mixing models in analyses of diet using multiple stable isotopes: a response, *Oecologia* 127: 180-184.

- Bernabeu (J.), Aura (J.E.), Badal (E.) 1993, *Al oeste del Eden. Historia universal 4 Prehistoria*, Universidad de Valencia, Editorial Sintesis, Madrid, 336 p.
- Bernabeu Auban (J.), Cabanilles (J.J.) 1999, Le Néolithique au Pays Valencien, in J. Vaquer, J. Guilaine (éds.) *Le Néolithique du Nord-Ouest méditerranéen : actes du colloque international, Carcassonne (26-30 septembre 1994)*, Société préhistorique française, Paris, p. 247-256.
- Berthet (J.) 2006, *Dictionnaire de biologie*, de Boeck, Bruxelles, 1034 p.
- Bietti (A.) 1987, Some remarks on the new radiocarbon dates from the Arene Candide cave (Savona, Italy), *Human Evolution* 2: 185-190.
- Binder (D.) 1987, *Le Néolithique ancien provençal : typologie et technologie des outillages lithiques. Suppléments à Gallia Préhistoire*, 24, C.N.R.S., Paris, 205 p.
- Binder (D.) 1991, *Une économie de la chasse au Néolithique ancien : la grotte Lombard (St Villier-de-Thiery, Alpes-Maritime)*, C.N.R.S., Paris, 233 p.
- Binder (D.) 2000, Mesolithic and Neolithic interaction in southern France and northern Italy : new data and current hypotheses, in T.D. Price (éd.), *Europe's first farmers*, Cambridge University Press, Cambridge, p. 117-143.
- Binder (D.) 2003, *Castellar-Abri Pendimoun (Alpes-Maritimes). Fouille programmée pluriannuelle, rapport de synthèse 2003*, Service Régional de l'Archéologie de P.A.C.A., Valbonne Sophia-Antipolis, 150 p.
- Binder (D.) 2005a, Autour de l'obsidienne : un aspect des processus d'interactions entre agro-pasteurs et chasseurs-cueilleurs en Anatolie centrale, in J. Guilaine (éd.), *Populations néolithiques et environnements. Séminaire du Collège de France*, Errance, Paris, p. 119-134.
- Binder (D.) 2005b, Les premiers agriculteurs et pasteurs en Provence au 6e millénaire av. J.-C., in X. Delestre (éd.), *15 ans d'archéologie en Provence-Alpes-Côte d'Azur*, Edisud, Aix-en-Provence, p. 32-45.
- Binder (D.), Brochier (J.E.), Duday (H.), Helmer (D.), Marinval (P.), Thiébault (S.), Watez (J.) 1993, L'abri Pendimoun à Castellar (Alpes-Maritimes) : nouvelles données sur le complexe culturel de la céramique imprimée méditerranéenne dans son contexte stratigraphique, *Gallia Préhistoire* 35: 177-251.
- Binder (D.), Courtin (J.) 1987, Nouvelles vues sur les processus de Néolithisation dans le Sud-Ouest de la France Un pas en avant deux pas en arrière, in J. Guilaine, J. Courtin, J.L. Roudil, J.L. Vernet (éds.), *Premières communautés paysannes en Méditerranée occidentale*, C.N.R.S., Paris, p. 491-499.
- Binder (D.), Sénépart (I.) 2004, Derniers chasseurs et premiers paysans de Vaucluse. Mésolithique et Néolithique ancien : 7000-4700 av. J.-C., in J. Buisson-Catil, A. Guilcher, C. Husy, M. Olive, M. Pagni (éds.), *Vaucluse préhistorique : Le territoire, les hommes, les cultures et les sites*, A. Barthélemy, Avignon, p. 131-162.
- Binford (L.R.) 1972, Mortuary practices: their study and their potential, in J. A. Brown (éd.) *Approaches to the social dimensions of mortuary practices*, Memory of the Society of American Archaeology, Washington, p. 6-29.
- Birchall (J.), O'connell (T.C.), Heaton (T.H.E.), Hedges (R.) 2005, Hydrogen isotope ratios in animal body protein reflect trophic level, *Journal of Animal Ecology* 74: 877-881.

Birkner (R.), Bléry-Lüft (C.) 1980, *L'image radiologique typique du squelette. Aspect normal et variantes chez l'adulte et l'enfant*, Maloine, Paris, 564 p.

Bocherens (H.) 1992, *Biogéochimie isotopique (^{13}C , ^{18}O) et paléontologie des vertébrés : application à l'étude des réseaux trophiques révolus et des paléoenvironnements*, Thèse de doctorat, Université Paris VI, Paris, 317 p.

Bocherens (H.) 1994, Diet physiology and ecology of fossil mammals as inferred from stable carbon and nitrogen isotope biogeochemistry implications for Pleistocene bears, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 107: 213-225.

Bocherens (H.) 1997a, L'apport de la biogéochimie isotopique à la connaissance des comportements de subsistance des chasseurs-cueilleurs anciens, in M. Patou-Matis, M. Otte (éds.), *L'alimentation des hommes du Paléolithique : approche pluridisciplinaire. Actes du colloque international de la fondation Singer -Polignac (4-5 décembre 1995)*, Etudes et recherches archéologiques de l'Université de Liège, Liège, p. 235-264.

Bocherens (H.) 1997b, Signature isotopique dans le collagène des os, *Comptes rendus de la Société de biologie* 4: 493-510.

Bocherens (H.) 1999a, Isotopes stables et reconstitution du régime alimentaire des Hominidés fossiles : une revue, *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris* 11 : 261-287.

Bocherens (H.) 1999b, *Etude biochimique du squelette préneolithique de l'abri d'Araguina-Sennola (Corse) : résultats préliminaires sur la conservation du collagène et première estimation de la position trophique de l'individu*, Rapport, S.R.A de Corse, p. 5.

Bocherens (H.), Mariotti (A.) 1992, Biogéochimie du carbone dans les os et les dents de mammifères actuels et fossiles de zones froides et tempérées, *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2, Sciences de la terre et des planètes* 315 : 1147-1153.

Bocherens (H.), Billiou (D.) 1998, Implications paléoenvironnementales et paléoalimentaires de l'étude isotopique du néandertalien de la couche 4, in M. Otte, M. Patou-Matis, D. Bonjean (éds.), *Recherches aux grottes de Sclayn*, Etudes et recherches archéologiques de l'Université de Liège, Liège, p. 311-328.

Bocherens (H.), Drucker (D.) 2003, Trophic level isotopic enrichment of carbon and nitrogen in bone collagen: case studies from recent and ancient terrestrial ecosystems, *International Journal of Osteoarchaeology* 13: 46-53.

Bocherens (H.), Fizet (M.), Mariotti (A.), Lange-Badre (B.), Vandermeersch (B.), Borel (J.P.), Bellon (G.) 1991, Isotopic biogeochemistry (^{13}C , ^{15}N) of fossil vertebrate collagen : application to the study of past food web including Neandertal man, *Journal of Human Evolution* 20: 481-492.

Bocherens (H.), Patou-Mathis (M.), Bonjean (D.), Otte (M.), Mariotti (A.) 1997a, Palaeobiological implications of the isotopic signature (^{13}C , ^{15}N) of fossil mammal collagen in Scladina cave (Sclayn, Belgium), *Quaternary Research* 48 : 370-380.

Bocherens (H.), Tresset (A.), Wiedemann (F.), Giligny (F.), Lafague (F.), Lanchon (Y.), Mariotti (A.) 1997b, Diagenetic evolution of mammal bones in two french neolithic sites, *Bulletin de la Société géologique de France* 168: 555-564.

- Bocherens (H.), Drucker (D.), Billiou (D.) 2005a, Etat de conservation des ossements de la grotte Chauvet (Vallon Pont-d'Arc, Ardèche, France), *Bulletin de la Société préhistorique française* 102 : 77-87.
- Bocherens (H.), Drucker (D.), Billiou (D.), Moussa (M.) 2005b, Une nouvelle approche pour évaluer l'état de conservation de l'os et du collagène pour les mesures isotopiques (datation au radiocarbone, isotopes stables du carbone et de l'azote), *L'Anthropologie* 109 : 557-567.
- Bocherens (H.), Billiou (D.), Tresset (A.) 2005c, Approche biogéochimique (^{13}C et ^{15}N) de l'exploitation de l'environnement par les humains, in F. Giligny (éd.), *Louviers "la Vilette" (Eure) : un site Néolithique moyen en zone humide*, Documents Archéologiques de l'Ouest, Rennes, p. 265-268.
- Bocherens (H.), Polet (C.), Toussaint, (M.) sous presse, Palaeodiet of Mesolithic and Neolithic populations of Meuse Basin (Belgium): evidence from stables isotopes, *Journal of Archaeological Science*.
- Bocquentin (F.) 2003, *Pratiques funéraires, paramètres biologiques et identités culturelles au Natoufien : une analyse archéo-anthropologique*, Thèse de Doctorat, Université Bordeaux 1, Talence, 631 p.
- Bonsall (C.), Lennon (R.), Mcsweeney (K.), Stewart (C.), Harkness (D.), Boroneant (V.), Bartosiewicz (L.), Payton, (R.), Chapman (J.) 1997, Mesolithic and Early Neolithic in the Iron Gates: a paleodietary perspective, *Journal of European Archaeology* 5: 50-92.
- Bonsall (C.), Cook (G.T.), Heaton (T.H.E.), Higham (T.F.G.), Pickard (C.), Radovanovic (I.) 2004, Radiocarbon and stable isotope evidence of dietary change from the Mesolithic to the Middle Ages in the Iron Gates : new results from Lepenski Vir, *Radiocarbon* 46: 293-300.
- Bordreuil (M.) 1998, Recherches sur le monumentalisme funéraire et les sépulture mégalithiques en Languedoc oriental, in P. Soulier (éd.), *La France des dolmens et des sépultures collectives (4500-2000 av. J.-C.)*, Errance, Paris, p. 135-158.
- Borgognini-Tarli (S.M.), Repetto (E.) 1985, Dietary patterns in the Mesolithic samples from Uzzo and Molara caves (Sicily): the evidence of teeth, *Journal of Human Evolution* 14: 241-254.
- Borgognini Tarli (S.M.), Canci (A.), Piperno (M.), Repetto (E.) 1993, Dati archeologici e antropologici sulle sepolture mesolitiche della Grotta dell'Uzzo (Trapani), *Bulletino di Paleontologia Italiana*, 84: 85-179.
- Boric (D.), Grupe (G.), Peters (J.), Mikic (Z.) 2004, Is the Mesolithic-Neolithic subsistence dichotomy real ? New stable isotope evidence from the Danube Gorges, *European Journal of Archaeology* 7: 221-248.
- Bosch (A.), Buxó (R.), Chinchilla (J.), Saña (M.), Tarrús (J.) 1999, La Draga (Banyoles) et le Néolithique ancien de la Catalogne, in J. Vaquer, J. Guilaine (éd.), *Le Néolithique du Nord-Ouest méditerranéen : actes du colloque international, Carcassonne (26-30 septembre 1994)*, Société préhistorique française, Paris, p. 195-210.
- Bösl (C.), Grupe (G.), Peters (J.) 2006, A late Neolithic vertebrate food web based on stable isotope analyses, *International Journal of Osteoarchaeology* 16: 296-315.
- Bouby (L.), Léa (V.) 2006, Exploitation de la vesce commune (*Vicia sativa* L.) au Néolithique moyen dans le Sud de la France, *Comptes Rendus Palevol*, 5: 973-980.

- Boujot (C.), Crubézy (E.), Duday (H.) 1991, L'identité du Chasséen à travers les structures et pratiques funéraires, in A. Beeching, D. Binder, J.C. Blanchet, C. Constantin, J. Dubouloz, R. Martinez, D. Mordant, J.P. Thevenot, J. Vaquer (éds.), *Identité du Chasséen : actes du colloque international de Nemours (17-18-19 mai 1989)*, Association pour la promotion de la recherche archéologique en Ile-de-France, Nemours, p. 413-420.
- Bourquin-Mignot (C.), Brochier (J.-E.), Chabal (L.) 1999, *La botanique*, Errance, Paris, 207 p.
- Boutonnet (J.P.), Simier (J.P.) 1995, *Les viandes*, Economica, Paris, 110 p.
- Bouville (C.P.) 1987, Les restes humains de la Baume Fontbrégoua à Salernes (Var), in J. Guilaine, J. Courtin, J.L. Roudil, J.L. Vernet (éds.), *Premières communautés paysannes en Méditerranée occidentale*, C.N.R.S., Paris, p. 501-505.
- Bouville (C.P.) 1993, Les restes osseux humains de la grotte d'Unang, in M. Paccard, C.P. Bouville (éds.), *La Grotte d'Unang à Malemort-du-Comtat*, Document d'Archéologie Vauclusienne, Avignon, p. 107-123.
- Branch (N.) 1997, Palynological study of the early and middle Neolithic cave deposits of Arene Candide: preliminary results, in R. Maggi (éd.), *Arene Candide : a functional and environmental assessment of the Holocene sequence (excavation Bernabò Brea-Cardini, 1940-1950)*, Memorie dell'Istituto Italiano di Paleontologia Umana, Rome, p. 89-102.
- Brochier (J.E.) 1981, Bergeries et feux de bois néolithiques, *Quartar* 33-34 : 181-193.
- Brochier (J.E.) 1983, Géoarchéologie du monde agropastoral, in J. Guilaine (éd.), *Pour une archéologie agraire*, Armand Colin, Paris, p. 303-322.
- Brochier (J.E.) 2005, Des hommes et des bêtes : une approche naturaliste de l'histoire et des pratiques de l'élevage, in J. Guilaine (éd.), *Populations néolithiques et environnements. Séminaire du Collège de France*, Errance, Paris, p. 137-152.
- Brown (T.A.), Nelson (D.E.), Vogel (J.S.), Southon (J.R.) 1988, Improved collagen extraction by modified Longin method, *Radiocarbon* 30: 171-178.
- Bružek (J.) 1992, Fiabilité des fonctions discriminantes dans la détermination sexuelle de l'os coxal. Critiques et propositions, *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 4: 67-104.
- Bui-Thi-Mai 1993, Etude palynologique de la grotte d'Unang, in M. Paccard, C. P. Bouville *La Grotte d'Unang à Malemort-du-Comtat*, Document d'Archéologie Vauclusienne, Avignon, p. 178-182.
- Cade (C.) 1999, La malacofaune marine, in S. Tiné (éd.), *Il neolitico nella caverna delle Arene Candide : scavi 1972-1977*, Istituto Internazionale di studi liguri, Bordighera, p. 51-65.
- Cade (C.) 2004, Malacofaunes méditerranéennes des côtes françaises et ligures, in J.P. Brugal, J. Desse (éds.), *Petits animaux et sociétés humaines*, A.P.D.C.A., Antibes, p. 29-35.
- Cahen (D.), Otte (M.) 1990, Rubané et Cardial, in D. Cahen, M. Otte (éds.), *Rubané et Cardial*, Etudes et recherches archéologiques de l'Université de Liège, Liège, p. 461- 464.
- Calvin (M.) 1961, *Chemical evolution*, Oregon State System of Higher Education, Eugene, 41 p.
- Campbell (N.A.) 1995, *Biologie*, de Boeck, Bruxelles, 1190 p.

- Campbell (P.N.), Smith (A.D.) 2002, *La biochimie illustrée*, Maloine, Paris, 373 p.
- Camps (G.) 1998, *Le Néolithique méditerranéen. Techniques et genres de vie*, Edisud, Paris, 95 p.
- Camps-Fabrer (H.) 1993, L'industrie osseuse, in M. Paccard, C. Bouville (éds.), *La Grotte d'Unang à Malemort-du-Comtat*, Document d'Archéologie Vauclusienne, Avignon, p. 126-133.
- Canalis (E.) 1988, Les facteurs de croissance liés à l'os, *Triangle* 28 : 179-188.
- Canci (A.), Formicola (V.) 1997, Una sintesi sui principali aspetti d'interesse paleopatologico nel materiale preistorico el finalese, *Quaderni del Civico Museo del Finale* 3: 23-28.
- Canci (A.), Minozzi (S.), Borgognini Tarli (S.M.) 1996a, New evidence of tuberculous spondylitis from Neolithic Liguria (Italy), *International Journal of Osteoarchaeology* 6: 497-501.
- Canci (A.), Minozzi (S.), Borgognini-Tarli (S.M.) 1996b, New evidence of tuberculous spondylitis from Neolithic Liguria (Italy), *International Journal of Osteoarchaeology* 6: 497-501.
- Canci (A.), Minozzi (S.), Borgognini-Tarli (S.M.) 1999, Resti scheletrici umani, in S. Tiné (éd.), *Il Neolitico della caverna delle Arene Candide (scavi 1972-1977)*, Istituto Internazionale di Studi Liguri, Bordighera, p. 304-312.
- Canci (A.), Borgognini Tarli (S.M.) 2005, Uzzo, in G. Alciati, V. Pesce Delfino, E. Vacca (éds.) *Catalogue of italian fossil human remains from the Palaeolithic to the Mesolithic. Supplement to the Journal of Anthropological Sciences, Rivista di Anthropologia*, Istituto Italiano di Antropologia, Rome, p. 145-149.
- Cannon (A.), Schwarcz (H.P.), Knyf (M.) 1999, Marine-based subsistence trends and the stable isotope analysis of dog bones from Namu, British Columbia, *Journal of Archaeological Science*, 26: 399-407.
- Castelletti (L.), Castiglioni (E.) 1999, Resti antracologici, in S. Tiné (éd.), *Il neolitico nella caverna delle Arene Candide : scavi 1972-1977*, Istituto Internazionale di studi liguri, Bordighera, p. 18-24.
- Cate (A.R.T.) 1994, *Oral histology: development, structure and function*, Mosby, St Louis, 532 p.
- Cerling (T.E.), Quade (J.), Ambrose (S.H.), Sikes (N.E.) 1991, Fossils soils grasses and carbon isotopes from Fort Ternan Kenya: grassland or woodland ?, *Journal of Human Evolution* 21: 295-306.
- Cerling (T.E.), Harris (D.A.) 1999, Carbon isotope fractionation between diet and bioapatite in ungulate mammals and implications for ecological and paleoecological studies, *Oecologia* 120: 347-363.
- Cesari (J.), Magdeleine (J.) 1999, Le Néolithique et le Chalcolithique de la Corse : acquis et problèmes, in J. Vaquer (éd.), *Le Néolithique du Nord-Ouest méditerranéen : actes du colloque international, Carcassonne (26-30 septembre 1994)*, Société préhistorique française, Paris, p. 111-118.
- Chambon (P.) 2003, *Les morts dans les sépultures collectives néolithiques en France : du cadavre aux restes ultimes*, 35^e suppléments à Gallia Préhistoire, éditions C.N.R.S, Paris, 395 p.
- Chambon (P.) 2005, Des morts aux vivants : population et société au Néolithique, in J. Guilaine (éd.), *Populations néolithiques et environnements. Séminaire du Collège de France*, Errance, Paris, p. 23-40.
- Charles (R.P.) 1951, Les grottes sépulcrales du Castellat de Châteauneuf-les-Martigues, *Revue d'études ligures* 17: 132-141.

- Cheftel (J.C.), Cuq (J.L.), Lorient (D.) 1985, *Protéines alimentaires*, Tec et Doc, Paris, 309 p.
- Chenorkian (R.) 1996, *Pratique archéologique statistique et graphique*, Errance, Paris, 162 p.
- Cheyilan (M.) 1979, Etude des ossements de tortues néolithiques de l'abri Jean Cros, in J. Guilaine, J. Gasco, M. Barbaza (éds.) *L'abri Jean Cros. Essai d'approche d'un groupe humain du Néolithique ancien dans son environnement*, Centre d'Anthropologie des sociétés rurales, Toulouse, p. 315-316.
- Cheyilan (M.) 1993, Etude des ossements de reptiles et amphibiens, in M. Paccard, C.P. Bouville (éds.), *La Grotte d'Unang à Malemort-du-Comtat*, Document d'Archéologie Vauclusienne, Avignon, p. 134-135.
- Cheyilan (M.), Courtin (J.) 1976, La consommation de la tortue cistude au post-glaciaire dans la grotte de Fontbrégoua, *Bulletin du Muséum d'Histoire Naturelle de Marseille* 36: 41-46.
- Childe (G.V.) 1925, *The down of european civilization*, Routledge and Kegan Paul, Londres, 362 p.
- Chisholm (B.S.), Nelson (D.E.), Schwarcz (H.P.) 1982, Stable isotope ratios as a measure of marine versus terrestrial protein in ancient diet, *Science* 216: 1131-1132.
- Claustre (F.) 1998, Monuments mégalithiques et grottes sépulcrales en Roussillon, in P. Soulier (éd.), *La France des dolmens et des sépultures collectives (4500-2000 av. J.-C.)*, Errance, Paris, p. 159-174.
- Claustre (F.), Ponsich (P.) 2000, Complément à l'étude de la céramique néolithique de la galerie close de Montou, *Etudes roussillonaises* 13 : 79-96.
- Cleuvenot (E.), 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* 5: 245-255.
- Clutton-Brock (J.), Noe-Nygaard (N.) 1990, New osteological and C-isotope evidence on mesolithic dogs: companions to hunters and fishers at Star Carr, Seamer Carr and Kongemose, *Journal of Archaeological Science*, 17: 643-653.
- Coltrain (J.B.), Hayes (M.G.), O'Rourke (D.H.) 2004, Sealing, whaling and caribou: the skeletal isotope chemistry of Eastern Arctic foragers, *Journal of Archaeological Science*, 31: 39-57.
- Constandse-Westermann (T.S.), Meiklejohn (C.), Newell (R.R.) 1982, A reconsideration of the Mesolithic skeleton from Rastel, *Bulletin du Musée d'Anthropologie préhistorique de Monaco* 26 : 75-89.
- Cook (G.T.), Bonsall (C.), Hedges (R.E.M.), McSweeney (K.), Boronean (V.), Bartosiewicz (L.), Pettitt (P.B.) 2002, Problems of dating human bones from the Iron Gates, *Antiquity* 76: 77-85.
- Cook (G.T.), Bonsall (C.), Hedges (R.E.M.), McSweeney (K.), Boronean (V.), Pettitt (P.B.) 2001, A freshwater diet-derived ¹⁴C reservoir effect at the stone ages sites in the Iron Gates gorge, *Radiocarbon* 43: 453-460.
- Coqueugniot (H.), Giacobini (G.), Malerba (G.) 2002, L'utilisation des caractères morphologiques dans la diagnose sexuelle des mandibules d'enfants : application à la collection ostéologique de Turin (Italie), *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris* 14 : 131-139.
- Coqueugniot (H.), Braga (J.), Houët (F.) 2005, Éléments de statistiques en anthropobiologie, in O. Dutour, J.-J. Hublin, B. Vandermeersch (éds.), *Objets et méthodes en Paléanthropologie*, C.T.H.S, Paris, p. 419-446.

Corr (L.T.), Sealy (J.), Horton (M.C.), Evershed (R.P.) 2005, A novel marine dietary indicator utilising compound-specific bone collagen amino acid $\delta^{13}\text{C}$ values of ancient humans, *Journal of Archaeological Science* 32: 321-330.

Costa (L.-J.) 2004, *Corse préhistorique. Peuplement d'une île et modes de vie des sociétés insulaires (IXe-IIe millénaires av J.-C.)*, Errance, Paris, 192 p.

Costa (J.-L.), Vigne (J.-D.), Bocherens (H.), Desseberset (N.), Heinz (C.), de Lanfranchi (F.), Magdeleine (J.), Ruas (M.-P.), Thiébault (S.), Tozzi (C.) 2003, Early settlement on Thyrrenien islands (8th millennium cl BC): Mesolithic adaptation to local resources in Corsica and Northern Sardinia, in H. Krindgen, K. Knutson, L. Larsson, D. Loeffler, A. Akerlund (éds.) *Mesolithic on the move. Colloque international UISPP: 6th conference on the Mesolithic in Europe, Stockholm 2000*, Oxbow Monographs, Oxford, p. 3-10.

Coste (A.), Duday (H.), Guthertz (X.), Roudil (J.-L.) 1987, Les sépultures de la Baume Bourbon à Cabrières (Gard), in J. Guilaine, J. Courtin, J.-L. Roudil (éds.), *Les premières communautés paysannes en Méditerranée occidentale*, C.N.R.S., Montpellier, p. 531-535.

Counihan (C.) 1999, *The anthropology of food and body. Gender meaning and power*, Routledge, New York, 256 p.

Courtin (J.) 1974, *Le Néolithique de la Provence. Mémoire de la Société Préhistorique française*, Klincksieck, Paris, 11, 359 p.

Courtin (J.) 2000, *Les premiers paysans du midi*, La Maison des Roches, Paris, 128 p.

Courtin (J.), Erroux (J.), Thommeret (Y.) 1976, Les céréales du Néolithique ancien de Châteauneuf-les-Martigues (Bouches-du-Rhône), *Bulletin du Musée d'histoire naturelle de Marseille* 36 : 11-16.

Courtin (J.), Evin (J.), Thommeret (Y.) 1985, Révision de la stratigraphie et de la chronologie absolue du site de Châteauneuf-les-Martigues (Bouches-du-Rhône), *L'Anthropologie* 4: 543-556.

Courtois (L.) 2000, *Etude biologique du site de Pendimoun (Alpes-Maritimes)*, Mémoire de DEA, Université Bordeaux 1, Talence, 77 p.

Cox (M.), Mays (S.A.) 2000, *Human osteology in archaeology and forensic science*, Greenwich Medical Media, Londres, 522 p.

Craig (O.E.) 1953, The geochemistry of stable carbon isotopes, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 3: 59-92.

Craig (O.E.), Taylor (G.), Mulville (J.), Collins (M.J.), Pearson (M.P.) 2005, The identification of prehistoric dairying activities in the Western Isles of Scotland: an integrated biomolecular approach, *Journal of Archaeological Science* 32: 91-103.

Crubézy (E.) 1988, *Interactions entre facteurs bio-culturels, pathologie et caractères discrets. Exemple d'une population médiévale : Canac (Aveyron)*, Thèse de Doctorat, Université Montpellier I, Montpellier, 411 p.

Crubézy (E.), Telmon (N.), Sevin (A.), Picard (J.), Rougé (D.), Larrouy (G.), Braga (J.), Ludes (B.), Murail (P.) 1999, Microévolution d'une population historique. Etude des caractères discrets de la

population de Missiminia (Soudan, IIIe-VIe siècle), *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris* 11: 1-123.

Crubézy (E.), Brůžek (J.), Guilaine (J.) 2003, La transition Mésolithique/Néolithique en Europe et dans le bassin méditerranéen : l'apport des nécropoles de Vedrovice et Nitra-Horné Krškany, in J. Brůžek, B. Vandermeersch, M.D. Garralda (éds.), *Changements biologiques et culturels en Europe de la fin du Paléolithique moyen au Néolithique*, Laboratoire d'Anthropologie des Populations du Passé, Talence, p. 185-200.

David (H.) 1999, *Etude des peuplements pré- et protohistoriques de Corse. Approche paléanthropologique*, Thèse de Doctorat, Université Bordeaux 1, Talence, 245 p.

Dawson (T.E.), Manbelli (S.), Plamboeck (A.H.), Templer (P.H.), Tu (K.P.) 2002, Stable isotopes in plant ecology, *Annual Review of Ecology and Systematics* 33: 507-559.

Debono (L.), Mafart (B.), Guipert (G.), Jeusel (E.) 2004, Application pratique de la méthode d'estimation de l'âge au décès de Schmitt et Broqua (2000), *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris* 1-2: 115-120.

Deines (P.) 1980, The isotopic composition of reduced organic carbon, in P. Fritz, J.C. Fontes (éds.), *Handbook of environmental isotope geochemistry*, Elsevier, New-York, p. 329-406.

Del Lucchese (A.) 1997, The Neolithic burials from Arene Candide cave. The Bernabo Brea excavation, in R. Maggi (éd.), *Arene Candide : a functional and environmental assessment of the Holocene sequence (excavation Bernabò Brea-Cardini, 1940-1950)*, Memorie dell'Istituto Italiano di Paleontologia Umana, Rome, p. 605-609.

Delhon (C.), Alexandre (A.), Berger (J.-F.), Thiébaud (S.), Brochier (J.-L.), Meunier (J.-D.) 2003, Phytolith assemblages as a promising tool for reconstructing Mediterranean Holocene vegetation, *Quaternary Research* 59: 48-60.

DeNiro (M.J.) 1985, Post-mortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios on relation to palaeodietary reconstruction, *Nature* 317: 806-809.

DeNiro (M.J.) 1987, Stable isotopy and archaeology, *American Scientist* 75: 182-191.

DeNiro (M.J.), Epstein (S.) 1978, Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 42: 495-506.

DeNiro (M.J.), Epstein (S.) 1981, Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 45: 341-351.

DeNiro (M.J.), Schoeninger (M.J.) 1983, Stable carbon and nitrogen isotope ratios of bone collagen: variations within individuals between sexes and within populations raised on monotonous diets, *Journal of Archaeological Science* 10: 199-203.

DeNiro (M.J.), Schoeninger (M.J.), Hastorf (C.A.) 1985, Effect of heating on stable carbon and nitrogen isotope ratios of bone collagen, *Journal of Archaeological Science* 12 : 1-7.

Desse-Berset (N.), Desse (J.) 1999, Les poissons, in S. Tiné (éd.), *Il neolitico nella caverna delle Arene Candide : scavi 1972-1977*, Istituto internazionale di studi liguri, Bordighera, p. 36-50.

Dobney (K.), Brothwell (D.) 1986, Dental calculus : its relevance to ancient diet and oral ecology, in E. Cruwys, R.A. Foley (éds.), *Teeth and Anthropology*, B.A.R. international Series, Oxford, p. 55-82.

Drucker (D.) 2001, *Validation méthodologique de l'analyse isotopique d'ossements fossiles et apports aux reconstitutions paleoecologiques du Paléolithique supérieur du Sud-Ouest*, Thèse de Doctorat, Université Paris VI Jussieu, Paris, 300 p.

Drucker (D.), Célérier (G.) 2001, Teneurs en carbone-13 du collagène de grands mammifères du site de Pont d'Ambon (Dordogne, France) : implications pour l'environnement et son exploitation au Tardiglaciaire dans le Sud-ouest de la France, *Paléo* 13 : 145-158.

Drucker (D.), 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 : 162-177.

Drucker (D.), Bocherens (H.), Cleyet-Merle (J.J.), Madelaine (S.), Mariotti (A.) 2000, Implication paléoenvironnementales de l'étude isotopique (^{13}C et ^{15}N) de la faune des grands mammifères des Jamblancs (Dordogne, France), *Paléo* 12: 29-53.

Drucker (D.), Bocherens (H.), Bridault (A.), Billiou (D.) 2003, Carbon and nitrogen isotopic composition of red deer (*Cervus elaphus*) collagen as a tool for tracking palaeoenvironmental change during the Late-Glacial and early Holocene in the northern Jura (France), *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 195: 375-388.

Drucker (D.), Henry-Gambier (D.) 2005, Determination of the dietary habits of a Magdalenian woman from Saint-Germain-la-Rivière in southwestern France using stable isotopes, *Journal of Human Evolution* 49: 19-35.

Duday (H.) 1975, Le sujet de la sépulture préneolithique de Bonifacio (Corse). Etude anthropologique essai d'interprétation paléolithique, *Cahiers d'Anthropologie* 24, 256 p.

Duday (H.) 1987, Contribution des observations ostéologiques à la chronologie interne des sépultures collectives, in H. Duday, C. Massey (éds.), *Anthropologie physique et archéologie : méthodes d'étude des sépultures : actes du colloque de Toulouse (4, 5 et 6 novembre 1982)*, C.N.R.S., Paris, p. 51-60.

Duday (H.) 1995, Anthropologie "de terrain". Archéologie de la mort, in Groupe Vendéen d'Etudes Préhistoriques (éd.), *La Mort, passé, présent, conditionnel : actes du colloque du Groupe Vendéen d'Etudes Préhistoriques, La Roche sur Yon, 1994*, GVEP, La Roche sur Yon, p. 33-75.

Duday (H.) 2005, L'archéothanatologie ou l'archéologie de la mort, in O. Dutour, J.-J. Hublin, B. Vandermeersch (éds.), *Objets et méthodes en paléanthropologie*, C.T.H.S., Paris, p. 153-216.

Duday (H.) 2006, L'archéothanatologie ou l'archéologie de la mort, in R. Gowland, C. Knüsel (éds.), *Social archaeology of funerary remains*, Oxbow Books, Oxford, p: 30-56.

Duday (H.), Guilaine (J.) 1975, Les rites funéraires en Languedoc et Roussillon du Néolithique à l'Age du Fer, *Cahiers ligures de Préhistoire et d'archéologie* 24: 141-151.

Duday (H.), Vaquer (J.) 2003, Les sépultures chasséennes du site des plots Berriac (Aude), in P. Chambon, J. Leclerc (éds.), *Les pratiques funéraires néolithiques avant 3500 av. J.-C. en France et dans les régions limitrophes : table ronde S.P.F, Saint-Germain-en-Laye (15-17 juin 2001)*, Société préhistorique française, Paris, p. 73-80.

Dudd (S.N.), Evershed (R.P.), Gibson (A.M.) 1999, Evidence for varying patterns of exploitation of animal products in different prehistoric pottery traditions based on lipids preserved in surface and absorbed residues, *Journal of Archaeological Science* 26: 1473-1482.

Dufour (E.), Bocherens (H.), Mariotti (A.) 1999, Palaeodietary implications of isotopic variability in Eurasian lacustrine fish, *Journal of Archaeological Science* 26: 617-627.

Dürrewächter (C.), Craig (O.E.), Collins (M.), Burger (J.), Alt (K.W.) 2006, Beyond the grave: variability in Neolithic diets in southern Germany ?, *Journal of Archaeological Science* 33: 39-48.

Einhorn (T.A.) 1988, Les propriétés biomécaniques de l'os, *Triangle* 28 : 197-207.

Enloe (J.G.) 1992, Le partage de la nourriture à partir des témoins archéologiques, in Centre de Recherche Archéologiques en Belgique (éd.) *Ethnoarchéologie. Justification, problèmes, limites*, APDCA, Juan-les-Pins, p. 307-324.

Eriksson (G.) 2003, *Norm and difference. Stone Age dietary practice in the Baltic region*, Jannes Snabbtryck Kuvertproffset, Stockholm, 35 p.

Eriksson (G.), Zagorska (I.) 2003, Do dogs eat like humans? Marine stable isotope signals in dog teeth from inland Zvejnieki, in H. Krindgen, K. Knutson, L. Larsson, D. Loeffler, A. Akerlund *Mesolithic on the move. Colloque international UISPP: 6th conference on the Mesolithic in Europe, Stockholm 2000*, Oxbow Monographs, Oxford, p. 160-168.

Escalon De Fonton (M.) 1956, *Préhistoire de la Basse-Provence*, Presses Universitaires de France, Paris, 162 p.

Evershed (R.P.), Dudd (S.N.), Copley (M.S.), Berstan (R.), Stott (A.W.), Mottram (H.), Buckley (S.A.), Crossman (Z.) 2002, Chemistry of archaeological animal fats, *Accounts of Chemical Research* 35: 660-668.

Farquhar (G. D.), Sharkey (T.D.) (1982), Stomatal conductance and photosynthesis, *Annual Review of Plant Physiology* 33: 317-345.

Farquhar (G.D.), Ehleringer (J.R.), Hubick (K.T.) 1989a, Carbon isotope discrimination and photosynthesis, *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 40: 503-537.

Farquhar (G.D.), Hubick (H.T.), Condon (A.G.), Richards (R.A.) 1989b, Carbon isotope fractionation and water use efficiency, in P.W. Rundel, J.R. Ehleringer, K.A. Nagy (éds.), *Stable isotopes in ecological research*, Springer-Verlag, New York, p. 22-40.

Faurie (C.), Ferra (C.), Médori (P.), Devaux (J.) 1998, *Ecologie. Approche scientifique et pratique*, Tec et Doc, Paris, 339 p.

Ferembach (D.) 1974, Le squelette épicastelnovien de la Baume de Montclus (Gard), *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris* 13 : 109-127.

Ferembach (D.), Schwidetzky (I.), Stloukal (M.) 1979, Recommandations pour déterminer l'âge et le sexe sur le squelette, *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris* 6: 7-45.

Fizet (M.) 1992, *Biogéochimie isotopique (¹³C et ¹⁵N) du collagène des vertébrés : contribution à l'étude du paléocosystème anthropique du Pléistocène supérieur (Marillac, Charente)*, Thèse de Doctorat, Université Paris IV, Paris, 136 p.

Fizet (M.), Mariotti (A.), Bocherens (H.) 1995, Effect of diet physiology and climate on carbon and nitrogen stable isotopes of collagen in a late Pleistocene anthropic palaeosystem, Marillac, France, *Journal of Archaeological Science* 22: 67-79.

Fogel (M.L.), Tuross (N.), Johnson (B.J.), Miller (G.H.) 1997, Biogeochemical record of ancient humans, *Organic Geochemistry* 27: 275-287.

Fogel (M.L.), Tuross (N.), Owsley (D.W.) 1989, Nitrogen isotope tracers of human lactation in modern and archaeological populations, *Annual Report of Geophysical Laboratory Carnegie Institution of Washington*: 111-117.

Formicola (V.) 1986a, Anthropologie dentaire des restes de l'Épigravettien final retrouvés dans la grotte des Arene Candide, *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris* 3 : 37-46.

Formicola (V.) 1986b, Postcranial variations in late Epigravettian and Neolithic human remains from Arene Candide cave (Liguria, Italy), *Human Evolution* 1: 557-563.

Formicola (V.) 1987, Neolithic transition and dental changes: the case of an Italian site, *Journal of Human Evolution* 16: 231-239.

Formicola (V.) 1997, The Neolithic transition in western Liguria: the current status of the anthropological research, in R. Maggi (éd.), *Arene Candide : a functional and environmental assessment of the Holocene sequence (excavation Bernabò Brea-Cardini, 1940-1950)*, Memorie dell'Istituto Italiano di Paleontologia Umana, Roma, p. 599-604.

Formicola (V.) 1999, Una sepoltura infantile del Neolitico medio, in S. Tiné (éd.), *Il Neolitico della caverna delle Arene Candide (scavi 1972-1977)*, Istituto Internazionale di Studi Liguri, Bordighera, p. 313- 318.

Formicola (V.) 2005, Arene Candide, in G. Alciati, V. Pesce Delfino, E. Vacca (éds.) *Catalogue of italian fossil human remains from the Palaeolithic to the Mesolithic. Supplement to the Journal of Anthropological Sciences, Rivista di Anthropologia*, Istituto Italiano di Antropologia, Rome, p. 18-26.

Formicola (V.), Canci (A.) 2003, From hunting to farming: the impact on health status in western Liguria (Italy), in J. Brůžek, B. Vandermeersch, M.D. Garralda (éds.), *Changements biologiques et culturels en Europe de la fin du Paléolithique moyen au Néolithique*, Laboratoire d'Anthropologie des Populations du Passé, Talence, p. 145-158.

Formicola (V.), Milanesi (Q.), Scarsini (C.) 1987, Evidence of spinal tuberculosis at the beginning of the fourth millennium BC for Arene Candide (Liguria Italy), *American journal of physical anthropology* 72: 1-6.

Formicola (V.), Pettitt (P.B.), Maggi (R.), Hedges (R.) 2005, Tempo and mode of formation of the late Epigravettian skeleton from Arene Candide (Italy): direct radiocarbon evidence, *Journal of Archaeological Science*, 32: 1598-1602.

Francalacci (P.) 1988, Comparison of archaeological trace element and stable isotope data from two Italian sites, *Revista di Antropologia* 66: 239-250.

Francalacci (P.) 1989, Dietary reconstruction at Arene Candide cave (Liguria, Italy) by means of trace element analysis, *Journal of Archaeological Science* 16: 109-124.

- Francalacci (P.), Borgognini Tarli (S.M.) 1988, Multielementary analysis of trace elements and preliminary results on stable isotopes in two Italian prehistoric sites. Methodological aspects, in G. Grupe, B. Herrmann (éds.), *Trace elements in environmental history*, Springer-Verlag, Berlin, p. 42-52.
- Freises (A.), Montjardin (R.) 1982, Le Néolithique ancien côtier du Midi de la France, in J. Bousquet (éd.), *Le Néolithique ancien méditerranéen*, Archéologie en Languedoc, Sète, p. 201-228.
- Friedli (H.), Lötscher (H.), Geschger (H.), Siegenthaler (U.), Stauffer (B.) 1986, Ice core record of the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio of atmospheric CO₂ in the past two centuries, *Nature* 324: 327-238.
- Froment (A.), Ambrose (S.H.) 1995, Analyses tissulaires isotopiques et reconstruction du régime alimentaire en milieu tropical : implication pour l'archéologie, *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris* 7 : 79-98.
- Fugazolla-Delpino (M.-A.), Pessina (A.) 1999, Le village submergé de la Marmotta (lac de Bracciano, Rome), in J. Vaquer, J. Guilaine (éds.), *Le Néolithique du Nord-Ouest méditerranéen : actes du colloque international, Carcassonne (26-30 septembre 1994)*, Société préhistorique française, Paris, p. 35-38.
- Fuller (B.T.), Fuller (J.L.), Sage (N.E.), Harris (D.A.), O'Connell (T.C.), Hedges (R.E.M.) 2004, Nitrogen balance and $\delta^{15}\text{N}$: why you're not what you eat during pregnancy, *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 18: 2889-2896.
- Fuller (B.T.), Fuller (J.L.), Sage (N.E.), Harris (D.A.), O'Connell (T.C.), Hedges (R.E.M.) 2005, Nitrogen balance and $\delta^{15}\text{N}$: why you're not what you eat during nutritional stress, *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 19: 2497-2506.
- Garten (C.T.) 1993, Variation in foliar ^{15}N abundance and the availability of soil nitrogen on walker branch watershed, *Ecology* 74: 2098-2113.
- Galop (D.) 2000, Propagation des activités agro-pastorales sur le versant nord-pyrénéen entre le VI^e et le III^e millénaire av. J.-C. L'apport palynologique, in M. Leduc, N. Valdeyron, J. Vaquer (éds.), *Sociétés et espaces. Rencontres méridionales de préhistoire récente, troisième session, Toulouse (6-7 novembre 1998)*, Archives d'Ecologie Préhistorique, Toulouse, p. 101-108.
- Gannes (L.Z.), Del Rio (C.M.), Koch (P.) 1998, Natural abundance variations in stable isotopes and their potential uses in animal physiological ecology, *Comparative Biochemistry and Physiology* 119: 725-737.
- Garcia Guixé (E.), Richards (M.P.), Subirà (M.E.) 2006, Palaeodiets of humans and fauna at the Spanish Mesolithic site of El Collado, *Current Anthropology* 47: 549-556.
- Gardes (P.) 1996, *Premiers agriculteurs et pasteurs dans les piémonts pyrénéens occidentaux. Le Néolithique et le début de l'Age du Bronze entre Garonne et Ebre*, Thèse de Doctorat, Université Bordeaux 3, Bordeaux, 863 p.
- de Garine (I.) 2001, Ouverture, *Anthropology of Food* 8: 1-2.
- de Garine (I.), Hugh-Jones (S.), Prinz (A.) 1996, Facteurs culturels et choix alimentaires: généralités, in C.M. Hladik, A. Hladik, H. Pagezy, O.F. Linares, G.J.A. Koppert, A. Froment (éds.) *L'alimentation en forêt tropicale. Interactions bioculturelles et perspectives de développement*, Éditions U.N.E.S.C.O, Paris : 805-815.

- Geddès (D.) 1985, *De la chasse au troupeau en Méditerranée occidentale. Les débuts de l'élevage dans le bassin de l'Aude*. *Archives d'Ecologie Préhistorique*, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris, 145 p.
- Giomi (F.) 1999, Industria ossea, in S. Tiné (éd.), *Il neolitico nella caverna delle Arene Candide : scavi 1972-1977*, Istituto Internazionale di studi liguri, Bordighera, p. 257-282.
- Giorgi F., Bartoli F., Iacumin P., Mallagni F. 2005, Oligoelements and isotopic geochemistry: a multidisciplinary approach to the reconstruction of the palaeodiet, *Human Evolution*, 20: 55-82.
- Goodman (A.H.), Rose (J.C.) 1990, Assessment of systemic physiological perturbations from dental enamel hypoplasias and associated histological structures, *American Journal of Physical Anthropology*, 33: 59-110.
- Gourichon (L.) 2004, *Faune et saisonnalité : l'organisation temporelle des activités de subsistance dans l'Épipaléolithique et le Néolithique précéramique du Levant nord (Syrie)*. Thèse de doctorat, Université Lyon 3-Louis Lumière, Lyon, 319 p.
- Granier (J.) 1993a, Coquilles de mollusques marins, in M. Paccard, C. Bouville (éds.), *La grotte d'Unang Malemort-du-Comtat*, Document d'Archéologie Vauclusienne, Avignon, p. 142.
- Granier (J.) 1993b, Faune malacologique, in M. Paccard, C. Bouville (éds.), *La grotte d'Unang Malemort-du-Comtat*, Document d'Archéologie Vauclusienne, Avignon, p. 136-141.
- Greenway (H.), Munns (R.) 1980, Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes, *Annual Review of Plant Physiology* 31: 149-190.
- Gröcke (D.R.), Bocherens (H.), Mariotti (A.) 1997, Annual rainfall and nitrogen-isotope correlation in macropod collagen: application as a paleoprecipitation indicator, *Earth and Planetary Science Letters* 153: 279-285.
- Grupe (G.), Piepenbrink (H.) 1986, Processing of prehistoric bones for isotopic analysis and the meaning of collagen C/N ratios in the assessment of diagenetic effects, *Human Evolution* 2: 511-515.
- Guilaine (C.) 1975, Rites funéraires en Languedoc et Roussillon du Néolithique au Premier Age du Fer, *Cahiers ligures de Préhistoire et d'archéologie*.
- Guilaine (J.) 1974, Le groupe néolithique de Montbolo. Essai de définition, in J. Guilaine (éd.), *La Balma de Montbolo et le Néolithique de l'Occident méditerranéen*, Institut pyrénéen d'études anthropologiques, Toulouse, p. 69-72.
- Guilaine (J.) 1976, *Premiers bergers et paysans de l'occident méditerranéen*, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris, 295 p.
- Guilaine (J.) 1991, Vers une préhistoire agraire, in J. Guilaine (éd.), *Pour une archéologie agraire*, Armand Colin, Paris, p. 31-80.
- Guilaine (J.) 1994, *La mer partagée. La Méditerranée avant l'écriture (7000-2000 av. J.-C.)*, Hachette, Paris, 453 p.
- Guilaine (J.) 1996, Du Néolithique : historiographie et concepts, *Annuaire du Collège de France 1995-1996* : 728-757.

- Guilaine (J.) 1997, Théories de la néolithisation, *Annuaire du Collège de France 1996-1997* : 697-719.
- Guilaine (J.) 1998, Néolithique et société : discours anthropologiques et données archéologiques, *Annuaire du Collège de France 1997-1998* : 687-711.
- Guilaine (J.) 2003, *De la vague à la tombe. La conquête néolithique de la Méditerranée*, Seuil, Paris, 375p.
- Guilaine (J.) 2005, Le lait ou la viande ?, in J. Guilaine (éd.), *Populations néolithiques et environnements. Séminaire du Collège de France*, Errance, Paris, p. 85-86.
- Guilaine (J.), Roudil (J.L.) 1976, Les civilisations néolithiques en Languedoc, in H. de Lumley (éd.), *La Préhistoire française. Les civilisations néolithiques et protohistoriques de la France*, C.N.R.S., Paris, p. 267-278.
- Guilaine (J.), Gasco (J.), Barbaza (M.) 1979, *L'abri Jean Cros. Essai d'approche d'un groupe humain du Néolithique ancien dans son environnement*, Centre d'Anthropologie des sociétés rurales, Toulouse, 462 p.
- Guilaine (J.), Courtin (J.), Roudil (J.L.), Vernet (J.L.) 1987, *Premières communautés paysannes en Méditerranée occidentale*, C.N.R.S., Paris, 764 p.
- Guilaine (J.), Vaquer (J.) 1994, Les obsidiennes à l'ouest du Rhône, *Gallia Préhistoire*, 36: 323-327.
- Guilaine (J.), Guilaine (C.) 1998, Les dolmens de l'Aude, in P. Soulier (éd.), *La France des dolmens et des sépultures collectives (4500-2000 av. J.-C.)*, Errance, Paris, p. 175-176.
- Guilaine (J.), Barbaza (M.), Gasco (J.), Geddés (D.), Coularou (J.), Vaquer (J.), Brochier (J.E.), Brioin (F.), André (J.), Jalut (G.), Vernet (J.L.) 1993, *Ourgne, derniers chasseurs-collecteurs et premiers éleveurs de la haute vallée de l'Aude*, Archéologie en terre d'Aude, Carcassonne, 498 p.
- Guilaine (J.), Guilaine (C.) 1998, Les dolmens de l'Aude, in P. Soulier (éd.), *La France des dolmens et des sépultures collectives (4500-2000 av. J.-C.)*, Errance, Paris, p. 175-176.
- Guilaine (J.), Briois (F.), Coularou (J.), Vigne (J.D.), Carrère (I.) 1998, Les débuts du Néolithique à Chypre, *L'Archéologue* 33 : 35-40.
- Gurfinkel (D.M.) 1987, Comparative study of the radiocarbon dating of different bone collagen preparations, *Radiocarbon* 29: 45-52.
- Guthe (C.E.), Mead (M.) 1945, Manual for the study of food habits, *Bulletin of National Research Council National Academy of Sciences* 111 (janvier).
- Handley (L.L.), Raven (J.A.) 1992, The use of natural abundance of nitrogen isotopes in plant physiology and ecology, *Plant, Cell and Environment* 15: 965-985.
- Harrisson (R.G.), Katzenberg (M.A.) 2003, Paleodiet studies using stable carbon isotopes from bone apatite and collagen: examples from Southern Ontario and San Nicolas Island California, *Journal of Anthropological Archaeology* 22: 227-244.
- Hawkes (K.) 2001, Is meat the hunter's property ? Big game ownership and explanations of hunting and sharing, in C.B. Standford, H.T. Bunn (éds.), *Meat-eating and human evolution*, Oxford University Press, Oxford, p. 219-236.

- Heaton (T.H.E.) 1986, isotopic studies of nitrogen pollution in the hydrosphere and atmosphere: a review, *Chemical geology* 59: 87-102.
- Heaton (T.H.E.) 1999, Spatial species and temporal variation in the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios of C3 plants : implication for paleodiets studies, *Journal of Archaeological Science* 26: 637-649.
- Heaton (T.H.E.), Baruch (S.), Madeline (S.), Robertson (C.) 1997, Potential canopy influences on the isotopic composition of nitrogen and sulphur in atmospheric deposition, *Oecologia* 109: 600-607.
- Hedges (R.E.M.) 2003, On bone collagen-apatite-carbonate isotopic relationships, *International Journal of Osteoarchaeology* 13: 66-79.
- Hedges (R.E.M.), van Klinken (G.J.) 1992, A review of current approaches in the pretreatment of bone for radiocarbon dating by A.M.S, *Radiocarbon* 34: 279-291.
- Hedges (R.), Reynard (L.) sous presse, Nitrogen isotopes and the trophic level of humans in archaeology, *Journal of Archaeological Science*.
- Heinz (C.), Figueiral (I.), Terral (J.-F.), Claustre (F.) 2004, Holocene vegetation changes in the northwestern Mediterranean: new palaeoecological data from charcoal analysis and quantitative eco-anatomy, *The Holocene* 14: 621-627.
- Heinz (C.), Thiébaud (S.) 1998, Characterization and palaeoecological significance of archaeological charcoal assemblages during late and post-glacial phases in Southern France, *Quaternary Research* 50: 56-68.
- Helmer (D.) 1991, Les faunes chasséennes du Sud-Est de la France : essai de synthèse, in A. Beeching, D. Binder, J.C. Blanchet, C. Constantin, J. Dubouloz, R. Martinez, D. Mordant, J.P. Thevenot, J. Vaquer (éds.), *Identité du Chasséen : actes du colloque international de Nemours (17-18-19 mai 1989)*, Association pour la promotion de la recherche archéologique en Ile-de-France, Nemours, p. 343-349.
- Helmer (D.) 1992, *La domestication des animaux par les hommes préhistoriques*, Masson, Paris, 177 p.
- Helmer (D.), Vigne (J.-D.) 2004, La gestion des cheptels de caprinés au Néolithique dans le midi de la France, in P. Bodu, C. Constantin (éds.), *Approches fonctionnelles en Préhistoire : XXVe Congrès préhistorique de France, Nanterre (24-26 novembre 2000)*, Société préhistorique française, Paris, p. 397-407.
- Helmer (D.), Gourichon (L.), Sidi Maamar (H.), Vigne (J.-D.) 2005, L'élevage des caprinés néolithiques dans le sud-est de la France : saisonnalité des abattages, relations entre grottes bergeries et sites de plein air, *Anthropozoologica* 40 : 167-189.
- Hennen (G.) 2001, *Biochimie*, Dunod, Paris, 442 p.
- Herrscher (E.) 2001, *Contribution de l'analyse paléoépidémiologique et paléobiogéochimique à la connaissance de la santé et de l'alimentation à la fin du Moyen Age, église Saint-Laurent de Grenoble (XIIIe-XVe siècle, France)*. Thèse de doctorat, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris VI, Paris, 334 p.
- Herrscher (E.) 2003, Alimentation d'une population historique. Analyse des données isotopiques de la nécropole Saint-Laurent de Grenoble (XIII^e-XV^e siècle France), *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris* 15: 149-269.

- Herrscher (E.) 2006, Collections ostéologiques et analyses biogéochimiques : limites et recommandations, in Y. Ardagna, B. Bizot, G. Boëtsch et X. Delestre (éds.), *Les collections ostéologiques humaines : actes de la table ronde de Carry-le-Rouet (25-26 avril 2003)*, APA, Aix-en-Provence, p. 173-181.
- Herrscher (E.), Bocherens (H.), Valentin (F.), Colardelle (R.) 2001, Comportement alimentaire au Moyen-âge à Grenoble : application de la biogéochimie isotopique à la nécropole de Saint-Laurent (XIII^e-XV^e siècles, Isère France), *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2, Sciences de la terre et des planètes* 324 : 479-487.
- Herrscher (E.), Valentin (F.) 2005, Biométrie de la croissance et état nutritionnel à Saint-Laurent de Grenoble (XIII^e-XV^e siècles, France), in Y. Ardagna, G. Boëtsch, O. Dutour, L. Lalys, M. Signoli (éds.), *L'Homme et ses images : actes du XXVe colloque international du G.A.L.F., Marseille (2001)*, G.A.L.F., Marseille, p. 74-85.
- Hillaire-Marcel (G.) 1986, Isotopes and food, in P. Fritz, J.C. Fontes (éds.), *Handbook of environmental isotope geochemistry*, Elsevier, Amsterdam, p. 507-514.
- Hillson (S.) 1996, *Dental anthropology*, Cambridge University Press, Cambridge, 373 p.
- Hillson (S.) 2001, Recording dental caries in archaeological human remains, *International journal of osteoarchaeology* 11: 249-289.
- Hobson (K.A.), Alisauskas (R.T.), Clark (R.G.) 1993, Stable nitrogen enrichment in avian tissues due to fasting and nutritional stress : implications for isotopic analyses of diet, *The Condor* 95: 388-394.
- Hobson (K.A.), Clark (R.G.) 1992, Assessing avian diets using stable isotopes: turnover of ¹³C in tissues, *The Condor* 94: 181-188.
- Hobson (K.A.), Schwarcz (H.P.) 1986, The variation $\delta^{13}\text{C}$ values in bone collagen for two wild herbivore populations: implication for palaeodiet studies, *Journal of Archaeological Science* 13: 101-106.
- Hoefs (J.) 1997, *Stable isotope geochemistry*, Springer Editions, Berlin, 201 p.
- Hubert (A.) 1985, *L'alimentation dans un village Yao de Thaïlande du Nord : de l'au-delà au cuisiné*, C.N.R.S., Paris, 321 p.
- Horard-Herbin (M.-P.), Lefèvre (C.), Vigne (J.-D.) 2005, L'alimentation carnée et les produits alimentaires, in M.-P. Horard-Herbin et J.-D. Vigne (éds.), *Animaux, environnements et sociétés*, Errance, Paris, p. 63-92.
- Huss-Ashmore (R.), Goodman (A.H.), Armelagos (G.J.) 1982, Nutritional inference from paleopathology, in M.B. Schiffer (éd.), *Advances in archaeological methods*, Academic Press, New York, p. 395-474.
- Iacumin (P.), Nikolaev (V.), Genoni (L.), Ramigni (M.), Ryskov (Y.G.), Longinelli (A.) 2004, Stable isotope analyses of mammal skeletal remains of Holocene age from European Russia: a way to trace dietary and environmental changes, *Geobios* 37: 37-47.
- Ichikawa (M.) 1996, Déterminisme écologiques et culturels des choix alimentaires des chasseurs-cueilleurs Mbuti du Zaïre, in C.M. Hladik, A. Hladik, H. Pagezy, O.F. Linares, G.J.A. Koppert, A. Froment (éds.), *L'alimentation en forêt tropicale : interactions bioculturelles et perspectives de développement. Volume II, Bases culturelles des choix alimentaires et stratégies de développement*, U.N.E.S.C.O., Paris, p. 759-770.

- Jacobsohn (M.), Pickford (P.), Jeunehomme (M.) 1990, *Himba : peuple nomade de Namibie*, Peuples et continents, Bruxelles, 144 p.
- Jalut (G.) 2005, Le climat, la végétation et l'Homme en Méditerranée à l'Holocène, in J. Guilaine (éd.), *Populations néolithiques et environnements. Séminaire du Collège de France*, Errance, Paris, p. 215-240.
- Jalut (G.), Amat (A.E.), Bonnet (L.), Gauquelin (T.), Fontugne (M.) 2000, Holocene climatic changes in the Western Mediterranean from south-east France to south-east Spain, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 160: 255-290.
- Jalut (G.), Amat (A.E.), Riera Y Mora (S.), Fontugne (M.), Mook (R.), Bonnet (L.), Gauquelin (T.) 1997, Holocene climatic changes in the western Mediterranean : installation of the Mediterranean climate, *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2, Sciences de la terre et des planètes* 325: 327-334.
- Jay (M.), Richards (M.P.) 2005, Diet in the Iron Age cemetery population at Wetwang Slack, East Yorkshire, UK : carbon and nitrogen stable isotope evidence, *Journal of Archaeological Science* 1-10.
- Kamina (P.) 1990, *Petit dictionnaire d'anatomie, d'embryologie et d'hystologie*, Paris, 775 p.
- Katzenberg (M.A.) 1989, Stable Isotope Analysis of Archaeological Faunal Remains from Southern Ontario, *Journal of Archaeological Science* 16: 319-329.
- Katzenberg (M.A.) 1993, Age differences and population variation in stable isotope values from Ontario Canada, in J.B. Lambert, G. Grupe (éds.), *Prehistoric human bone Archaeology at the molecular level*, p. 39-62.
- Katzenberg (M.A.), Lovell (N.C.) 1999, Stable isotope variation in pathological bone, *International Journal of Osteoarchaeology* 9: 316-324.
- Katzenberg (M.A.), Saunders (S.R.), Abonyi (S.) 2000, Bone chemistry food and history: a case study from 19th century Upper Canada, in S.H. Ambrose, M.A. Katzenberg (éds.), *Biogeochemical approaches to paleodietary analysis*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, p. 1-22.
- Katzenberg (M.A.), Schwarcz (H.P.), Knyf (M.), Melbye (F.J.) 1995, Stable isotope evidence for maize horticulture and palaeodiet in Southern Ontario, Canada, *American Antiquity* 60: 335-350.
- Katzenberg (M.A.), Weber (A.) 1999, Stable isotope ecology and palaeodiet in the lake Baikal region of Siberia, *Journal of Archaeological Science* 26: 651-659.
- Keeling (C.D.) 1961, The concentration and isotopic abundances of carbon dioxide in rural and marine air, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 24: 277-298.
- Klepinger (L.L.) 1984, Nutritional assessment from bone, *Annual Review of Anthropology* 13: 75-96.
- van Klinken (G.J.) 1999, Bone collagen quality indicators for palaeodietary and radiocarbon measurements, *Journal of Archaeological Science* 26: 687-695.
- van Klinken (G.J.), van der Plicht (H.), Hedges (R.E.M.) 1994, Bone $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios reflect (palae-) climatic variations, *Geophysical Research Letters* 21: 445-448.
- van Klinken (G.J.), Richards (M.P.), Hedges (R.E.M.) 2000, An overview of causes for stable isotopic variations in past European human populations: environmental ecophysiological and cultural effects, in

S.H. Ambrose, M.A. Katzenberg (éds.), *Biogeochemical approaches to paleodietary analysis*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, p. 39-58.

Krigbaum (J.) 2003, Neolithic subsistence patterns in northern Borneo reconstructed with stable carbon isotopes of enamel, *Journal of Anthropological Archaeology* 22: 292-304.

Krueger (H.W.), Sullivan (C.H.) 1984, Models for carbon isotope fractionation between diet and bone, in J. Turnlund, P. Johnson (éds.), *Stable isotopes in nutrition*, American Chemical Society, Washington, p. 205-220.

Lacoste (A.), Salanon (R.) 1999, *Eléments de biogéographie et d'écologie*, Nathan Université, Paris, 318 p.

Lambeck (K.), Bard (E.) 2000, Sea-level change along the french mediterranean coast for the past 30000 years, *Earth and Planetary Science Letters* 175: 203-222.

Lange-Badré (B.), Le Mort (F.) 1998, Isotopes stables du carbone et de l'azote et éléments traces indicateurs du régime alimentaire de la population néolithique de Khirokitia (Chypre), in G. Camps (éd.), *L'Homme préhistorique et la mer : actes du 120e Congrès national des sociétés historiques et scientifiques, section de pré- et protohistoire, Aix-en Provence (23-26 octobre 1995)*, C.T.H.S, Paris, p. 415-426.

Larsen (C.S.) 1997, *Bioarchaeology. Interpreting behavior from the human skeleton*, Cambridge University Press, Cambridge, 461 p.

Larsen (C.S.) 2003, Post-Pleistocene human evolution: bioarchaeology of the agricultural transition, in P.S. Ungar, M.P. Teaford (éds.), *Human diet. Its origin and evolution*, Bergin and Garvey, Londres, p. 19-36.

Larsen (C.S.) 2006, The agricultural revolution as environmental catastrophe: implications for health and lifestyle in the Holocene, *Quaternary International* 150: 12-20.

Lavigne (S.E.), Molto (J.E.) 1995, System of measurement of the severity of periodontal disease in past populations, *International Journal of Osteoarchaeology* 5: 265-273.

Leavitt (S.W.), Long (A.) 1982, Evidence for $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ fractionation between tree leaves and wood, *Nature* 298: 742-744.

Le Bras-Goude (G.), Billy (I.), Charlier (K.), Loison (G.) 2006a, Contribution des méthodes isotopiques pour l'étude de l'alimentation humaine au Néolithique moyen méridional : le cas du site Chasséen ancien du Crès (Béziers, Hérault, France), *Antropo* 11: 167-175.

Le Bras-Goude (G.), Binder (D.), Formicola (V.), Duday (H.), Couture-Veschambre (C.), Hublin (J.-J.), Richards (M.P.), 2006b, Stratégies de subsistance et analyse culturelle de populations néolithiques de Ligurie : approche par l'étude isotopique ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) des restes osseux, *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 18 : 45-55.

Le Bras-Goude (G.), Binder (D.), Simon (P.), Richards (M.P.) sous presse, L'homme du Rastel (Peillon, Alpes-Maritimes, France) : nouvelles données isotopiques ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$), radiométriques et archéologiques, *Bulletin du Musée d'Anthropologie préhistorique de Monaco*.

- Le Huray (J.D.), Schutowski (H.) 2005, Diet and social status during La Tène period in Bohemia : carbon and nitrogen stable isotope analysis of bone collagen from Kutna Hora-Karlovy and Radovesice, *Journal of Anthropological Archaeology* 24: 135-147.
- Leavitt (S.W.), Long (A.) 1982, Evidence for $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ fractionation between tree leaves and wood, *Nature* 298: 742-744.
- Leclerc (J.), Tarrête (J.) 1994a, Sépulture, in A. Leroy-Gourhan (éd.) *Dictionnaire de la Préhistoire*, Presses Universitaires de France, Paris : 1002-1003.
- Leclerc (J.), Tarrête (J.) 1994b, Néolithique, in A. Leroy-Gourhan (éd.) *Dictionnaire de la Préhistoire*, Presses Universitaires de France, Paris : 773-775.
- Ledermann S. 1969, *Nouvelles tables-types de mortalité*, Presses Universitaires de France, Paris, 260 p.
- Lee-Thorp (J.), Sponheimer (M.) 2000, Isotopes stables du carbone et alimentation des Hominidés anciens, *Les Nouvelles de l'Archéologie* 80: 12-16.
- Lee-Thorp (J.A.), Sponheimer (M.), van der Merwe (N.J.) 2003, What do stable isotopes tell us about hominid dietary and ecological niches in the Pliocene?, *International Journal of Osteoarchaeology* 13: 104-113.
- Legros (R.), Bonel (G.), Balmain (N.), Juster (M.) 1978, Identification précise du constituant minéral des os par étude de son comportement thermique, *Journal de chimie physique* 75: 761-766.
- Leng (M.J.), Lamb (A.L.), Heaton (T.H.E.), Marshall (J.D.), Wolfe (B.B.), Jones (M. D.), Holmes (J.A.), Arrowsmith (C.) 2006, Isotopes in lake sediments, in M.J. Leng (éd.), *Isotopes in palaeoenvironmental research*, Springer, Dordrecht, p. 147-184.
- Lepage (Y.) 2003, Anthropologie et migrations, in C. Susanne, E. Rebato, B. Chiarelli (éd.) *Anthropologie biologique*, De Boeck Université, Bruxelles, p. 375-380.
- Lepoint (G.), Dauby (P.), Gobert (S.) 2004, Applications of C and N stable isotopes to ecological and environmental studies in seagrass ecosystems, *Marine Pollution Bulletin* 49: 887-891.
- Leroy-Gourhan (A.) 1988, *Dictionnaire de la Préhistoire*, Presses Universitaires de France, Paris, 1277 p.
- de Lestrangé (M.-T.) 1981, Equilibres alimentaires chez les Bassari du Sénégal oriental: anciens chasseurs-cueilleurs devenus agriculteurs, in D. Ferembach (éd.) *Les processus de l'hominisation*, C.N.R.S., Paris, p. 245-251.
- Letolle (R.) 1980, Nitrogen-15 in the natural environment, in P. Fritz (éd.), *Handbook of environmental isotope geochemistry*, p. 407-434.
- Lévêque (C.) 2001, *Ecologie. De l'écosystème à la biosphère*, Dunod, Paris, 502 p.
- Libby (W.F.), Berger (R.), Mead (J.F.), Alexander (G.V.) 1964, Replacement rates for human tissue from atmospheric radiocarbon, *Science* 146: 1170-1172.
- Lidén (K.) 1995a, A dietary perspective on Swedish hunter-gatherer and Neolithic populations, in K. Lidén (éd.), *Prehistoric diet transitions. An archaeological perspective*, Archaeological Research Laboratory Stockholm University, Stockholm, p. 1-28.

Lidén (K.) 1995b, Megaliths agriculture and social complexity: a diet study of two Swedish megalith populations, *Journal of Anthropological Archaeology* 14: 404-417.

Lidén (K.), Eriksson (G.), Nordqvist (B.), Götherström (A.), Bendixen (E.) 2004, The wet and the wild followed by the dry and the tame, or did they occur at the same time ? Diet in Mesolithic and Neolithic southern Sweden, *Antiquity* 78: 23-33.

Lidén (K.), Takahashi (C.), Nelson (D.) 1995, The effects of lipids in stable carbon isotope analysis and the effects of NaOH treatment on the composition of extracted bone collagen, *Journal of Archaeological Science* 22: 321-326.

Lieverse (A.R.) 1999, Diet and the aetiology of dental calculus, *International Journal of Osteoarchaeology* 9: 219-232.

Lillie M. 1997, Women and children in Prehistory: resource sharing and social stratification at the Mesolithic-Neolithic transition in Ukraine, in J. Moore, E. C. Scott (éds.) *Invisible and processes: writing gender and childhood into European archaeology*, Leicester University Press, London, p. 213-228.

Lillie (M.C.), Richards (M.) 2000, Stable isotope analysis and dental evidence of diet at the Mesolithic-Neolithic transition in Ukraine, *Journal of Archaeological Science* 27: 965-972.

Little (J.C.), Little (E.A.) 1997, Analysing prehistoric diets by linear programming, *Journal of Archaeological Science* 24: 741-747.

Loirat (D.) 2000, *La faune du niveau Néolithique moyen de la grotte de Montou*, Mémoire de D.E.A., Toulouse II le Mirail. E.H.E.S.S., Toulouse, 68 p.

Loison (G.), Fabre (V.), Villemeur (I.) 2003, Structures domestiques et aménagements funéraires sur le site chasséen du Crès à Béziers (Hérault), *Archéopages* 10: 33-39.

Loison (G.), Fabre (V.), Villemeur (I.) 2004, *Le Crès. Habitats préhistoriques en bordure de l'Orb. Structures domestiques et sépulture du Chasséen ancien. Rapport final d'opération*, I.N.R.A.P., Montpellier, p. 304.

Longin (R.) 1971, New method of collagen extraction for radiocarbon dating, *Nature* 230: 241-242.

Lösch (S.), Grupe (G.), Peters (J.) 2006, Stable isotopes and dietary adaptations in humans and animals at Pre-Pottery Neolithic Nevalı Çori, Southeast Anatolia, *American Journal of Physical Anthropology* 131: 181-193.

Lovell (N.C.), Nelson (D.E.), Schwarcz (H.P.) 1986, Carbon isotope ratios in palaeodiet: lack of age or sex effect, *Archaeometry* 18: 51-55.

Lowdon (J.A.), Dyck (W.) 1974, Seasonal variations in the isotope ratios of carbon in maple leaves and other plants, *Canadian Journal of Earth Sciences* 11: 79-88.

Lubell (D.), Jackes (M.), Schwarcz (H.), Knyf (M.), Meiklejohn (C.) 1994, The Mesolithic-Neolithic transition in Portugal: isotopic and dental evidence of diet, *Journal of Archaeological Science* 21: 201-216.

Macchiarelli (R.), Bondioli (L.), Censi (L.), Hernaez (M.K.), Salvadei (L.), Sperduti (A.) 1994, Intra-Interobserver concordance in scoring Harris line: a test on bone sections and radiographs, *American Journal of Physical Anthropology*, 95: 77-83.

- Macko (S.A.), Fogel Estep (M.L.), Engel (M.H.), Hare (P.E.) 1986, Kinetic fractionation of stable nitrogen isotopes during amino acid transamination, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 50: 2143-2146.
- Mafart (B.) 1979, *Contribution à la connaissance de la pathologie osseuse au Moyen Age en Provence*, Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille II, Marseille, 365 p.
- Mafart (B.) 1989, Intérêt et limite de l'étude de quelques marqueurs osseux de la malnutrition au cours de la croissance, in L. Buchet (éd.), *Homme et milieu : approches paléoanthropologiques : actes des quatrièmes Journées anthropologiques de Valbonne (25-26-27 mai 1988)*, C.N.R.S, Paris, p. 73-84.
- Magdeleine (J.) 1995, Préhistoire du Cap Corse. Les abris de Torre d'Aquila Pietracorbara (Haute Corse), *Bulletin de la Société préhistorique française* 92 : 363-377.
- Maggi (R.) 1977, Lo strato a ceramiche graffite delle Arene Candide, *Prehistoria Alpina* 13: 205-211.
- Maggi (R.) 1997, The excavation by Luigi Bernabo Brea and Ligi Cardini of the cave of Arene Candide within the historical context of the study of Prehistory in Italy, in R. Maggi (éd.), *Arene Candide : a functional and environmental assessment of the Holocene sequence (excavation Bernabò Brea-Cardini, 1940-1950)*, Memorie dell'Istituto Italiano di Paleontologia Umana, Rome, p. 11-30.
- Maggi (R.), Chella (P.) 1999, Chronologie par le radiocarbone du Néolithique des Arene Candide (fouilles Bernabo Brea), in J. Vaquer (éd.), *Le Néolithique du Nord-Ouest méditerranéen : actes du colloque international, Carcassonne (26-30 septembre 1994)*, Société préhistorique française, Paris, p. 99-110.
- Magny (M.) 1995, *Une histoire du climat. Des derniers Mammouths au siècle de l'automobile*, Errance, Paris, 176 p.
- Mahieu (E.) 1992, La nécropole de Najac à Siran (Hérault). I. Réflexion sur les sépultures chasséennes, *Gallia Préhistoire*, 34: 141-164.
- Majo (T.) 1996, Réflexions méthodologiques liées à la diagnose sexuelle des suelettes non-adultes, *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 3-4: 481-490.
- Manen (C.) 2000, Implantation de faciès d'origine italienne au Néolithique ancien : l'exemple des sites "liguriens" du Languedoc, in M. Leduc, N. Valdeyron, J. Vaquer (éds.), *Sociétés et espaces. Rencontres méridionales de préhistoire récente, troisième session, Toulouse (6-7 novembre 1998)*, Archives d'Ecologie Préhistorique, Toulouse, p. 35-42.
- Marchesi (H.) 1993, Le matériel de broyage, in M. Paccard, C. Bouville (éds.), *La grotte d'Unang Malemort-du-Comtat*, Document d'Archéologie Vauclusienne, Avignon, p. 143-144.
- Marino (B.D.), Mcelroy (M.B.) 1991, Isotopic composition of atmospheric CO₂ inferred from carbon in C₄ plant cellulose, *Nature* 349: 127-131.
- Marinval (P.) 1988, *L'alimentation végétale en France du Mésolithique jusqu'à l'Age du Fer*, C.N.R.S., Paris, 192 p.
- Marinval (P.) 1991, Le Chasséen : problème d'identité l'approche carpologique, in A. Beeching, D. Binder, J.C. Blanchet, C. Constantin, J. Dubouloz, R. Martinez, D. Mordant, J.P. Thevenot, J. Vaquer (éds.), *Identité du Chasséen : actes du colloque international de Nemours (17-18-19 mai 1989)*, Association pour la promotion de la recherche archéologique en Ile-de-France, Nemours, p. 379-382.

Mariotti (A.) 1982, *Apport de la géochimie isotopique à la connaissance du cycle de l'azote*, Thèse de doctorat, Université Paris VI, Paris, 476 p.

Mariotti (A.) 1983, Atmospheric nitrogen is a reliable standard for natural ^{15}N abundance measurements, *Nature* 303: 685-687.

Mariotti (A.), Pierre (D.), Vedy (J.C.), Bruckert (S.), Guillemot (J.) 1980, The abundance of natural nitrogen 15 in the organic matter of soils along an altitudinal gradient (Chablais, Haute Savoie, France), *Catena* 7: 293-300.

Masters (P.M.) 1987, Preferential preservation of noncollagenous protein during bone diagenesis: implication for chronometric and stable measurements, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 50: 3209-3214.

Mays (S.A.) 2000, New directions in the analysis of stable isotopes in excavated bones and teeth, in M. Cox, S.A. Mays (éds.), *Human osteology in archaeological and forensic science*, Greenwich Medical Media, Londres, p. 425-438.

Mazurié de Kérualin (K.) 2003, *Genèse et diffusion de l'agriculture en Europe*, Errance, Paris, 184 p.

Medina (E.), Minchin (P.) 1980, Stratification of $\delta^{13}\text{C}$ values of leaves in amazonian rain forests, *Oecologia* 45: 377-378.

Meiklejohn (C.), Zvelebil (M.) 1991, Health status of european populations at the agricultural transition and the implication for the adoption of farming, in H. Bush, M. Zvelebil (éds.), *Health in past societies*, B.A.R International Series, Oxford, p. 129-143.

Meigs (A.) 1997, Food as a cultural construction, in C. Counihan and P. van Esterik, *Food and culture*, Routledge, New York, p. 95-106.

Méniel (P.), Arbogast (R.-M.) et Lepetz (S.) 2005, Les animaux dans les pratiques funéraires et religieuses, in M.-P. Horard-Herbin, J.D. Vigne, *Animaux, environnements et sociétés*, Errance, Paris, p. 131-150.

van der Merwe (N.J.) 1989, Natural variation in ^{13}C concentration and its effects on environmental reconstruction using $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios in animal bones, in T.D. Price (éd.), *The chemistry of prehistoric human bone*, Cambridge Academic Press, Cambridge, p. 105-125.

van der Merwe (N.J.), Vogel (J.C.) 1978, ^{13}C content of human collagen as a measure of prehistoric diet in Woodland North America, *Nature* 276: 815-816.

van der Merwe (N.J.) 1982, Carbon isotopes photosynthesis and archaeology, *American Scientist* 70: 596-606.

van der Merwe (N.J.), Medina (E.) 1991, The canopy effect carbon isotope ratios and foodwebs in Amazonia, *Journal of Archaeological Science* 18: 249-259.

Michaux (J.) 1993, Liste des rongeurs, in M. Paccard, C. Bouville (éds.), *La grotte d'Unang Malemort-du-Comtat*, Document d'Archéologie Vauclusienne, Avignon, p. 136-141.

Mills (N.) 1987, Questions méthodologiques dans l'étude des premières communautés paysannes du Midi de la France, in J. Guilaine, J. Courtin, J.L. Roudil, J.L. Vernet (éds.), *Premières communautés paysannes en Méditerranée occidentale*, C.N.R.S., Paris, p. 487-490.

Milner (O.), Craig (O.E.), Bailey (G.N.), Pedersen (K.), Andersen (S.H.) 2003, Change of diet in northern Europe's Mesolithic-Neolithic transition: a new critique, *Antiquity* 79: 9-22.

Minagawa (M.) 1992, Reconstruction of human diet from $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in contemporary Japanese hair: a stochastic method for estimating multi-source contribution by double isotopic tracers, *Applied Geochemistry* 7: 145-158.

Minagawa (M.), Wada (E.) 1984, Stepwise enrichment of ^{15}N along food chain: further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48: 1135-1140.

Molnar (S.) 1962, Human tooth wear, tooth function and cultural variability, *American Journal of Physical Anthropology* 34: 175-190.

Montgomery (J.), Evans (J.A.), Powlesland (D.), Roberts (C.A.) 2005, Continuity or colonization in anglo-saxon England ? Isotope evidence for mobility, subsistence practice and status at west Heslerton, *American Journal of Physical Anthropology* 126: 123-138.

Montjardin (R.), Roger (J.M.) 1991, L'état de la question chasséenne en Languedoc Oriental à la lumière des fouilles récentes, in A. Beeching, D. Binder, J.C. Blanchet, C. Constantin, J. Dubouloz, R. Martinez, D. Mordant, J.P. Thevenot, J. Vaquer (éds.), *Identité du Chasséen : actes du colloque international de Nemours (17-18-19 mai 1989)*, Association pour la promotion de la recherche archéologique en Ile-de-France, Nemours, p. 45-54.

Moore (K.M.), Murray (L.M.), Schoeninger (M.J.) 1989, Dietary reconstruction from bones treated with preservatives, *Journal of Archaeological Science* 16: 437-446.

Moorrees (C.F.A.), Fanning (E.A.), Hunt (E.E.) 1963, Age variation of formation stages for ten permanent teeth, *Journal of Dental Research*, 42: 1490-1502.

Morère (J.-L.), Pujol (R.) 2003, *Dictionnaire raisonné de biologie*, Frison-Roche, Paris, 1222 p.

Morlan (R.E.), Nelson (D.E.), Brown (T.A.), Vogel (J.S.), Southon (J.R.) 1990, Accelerator mass spectrometry dates on bones from Old Crow Basin northern Yukon territory, *Canadian Journal of Archaeology* 75-92.

Mourer-Chauviré (C.) 1993, Liste des oiseaux, in M. Paccard, C. Bouville (éds.), *La grotte d'Unang Malemort-du-Comtat*, Document d'Archéologie Vauclusienne, Avignon, p. 147-148.

Müldner (G.), Richards (M.P.) 2005, Fast or feast: reconstructing diet in later medieval England by stable isotope analysis, *Journal of Archaeological Science* 32: 39-48.

Murail (P.), 2005, Variations anatomiques non métriques : les caractères discrets, in O. Dutour, J.-J. Hublin, B. Vandermeersch (éds.), *Objets et méthodes en paléanthropologie*, C.T.H.S, Paris, p. 137-152.

Murail (P.), Brůžek (J.), Houët (F.), Cunha (E.) 2005, DSP: a tool for probabilistic sex diagnosis using worldwide variability in hip-bone measurement, *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris* 3-4: 167-176.

Murray (M.L.), Schoeninger (M.J.) 1988, Diet, status, and complex social structure in Iron Age Central Europe: some contributions from bone chemistry, in D. B. I Gibson, M. N. Geselowitz (éds.) *Tribe and Polity in Late Prehistoric Europe: Demography, Production and Exchange in the Evolution of Complex Social Systems*, Plenum Press, New York, p. 155-176.

Nelson (B.K.), DeNiro (M.J.), Schoeninger (M.J.), De Paolo (J.), Hare (P.E.) 1986, Effect of diagenesis on strontium, carbon, nitrogen and oxygen concentration and isotopic concentration of bone, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 50: 1941-1951.

Newsome (S.D.), Phillips (D.L.), Culleton (B.J.), Guiderson (T.P.), Koch (P.L.) 2004, Dietary reconstruction of early to middle Holocene human population from the central California coast: insights from advanced stable isotope mixing models, *Journal of Archaeological Science* 31: 1101-1115.

Niederlender A., Lacam R., Arnal J. 1966, *Le gisement néolithique de Roucadour (Thémines - Lot)*, C.N.R.S., Paris, 206 p.

Nielsen-Marsh (C.), Gernaey (A.), Turner-Walker (G.), Hedges (R.), Pike (A.), Collins (M.) 2000, The chemical degradation of bone, in M. Cox, S.A. Mays (éds.), *Human osteology in archaeological and forensic science*, Greenwich Medical Media, Londres, p. 439-454.

Nisbet (R.) 1997, Arene Candide: charcoal remains and prehistoric woodland use, in R. Maggi (éd.), *Arene Candide : a functional and environmental assessment of the Holocene sequence (excavation Bernabò Brea-Cardini, 1940-1950)*, Memorie dell'Istituto Italiano di Paleontologia Umana, Rome, p. 103-112.

Noe-Nygaard (N.) 1988, $\delta^{13}\text{C}$ values of dogs bones reveal the nature of changes in man's food resources at the Mesolithic-Neolithic transition, Denmark, *Isotope Geoscience*, 73: 87-96.

Noe-Nygaard (N.), Price (T. D.), Hede (S.U.) 2005, Diet of aurochs and early cattle in southern Scandinavia : evidence from ^{15}N and ^{13}C stable isotopes, *Journal of Archaeological Science* 32: 855-871.

Norr (L.) 1982, A new chemical analysis for the determination of marine fauna component in prehistoric diets, *American Journal of Physical Anthropology* 57: 214.

Oakley (K.P.), Campbell (B.G.), Molleson (T.I.) 1971, *Catalogue of fossil hominids. Part II: Europe*, Edition British Museum, Londres, 379 p.

O'connell (T.C.), Hedges (R.E.M.) 1999, Investigations into the effect of diet on modern human hair isotopic values, *American Journal of Physical Anthropology* 108: 409-425.

Odetti (G.) 1999, Considerazioni conclusive sugli strati dal Neolitico medio all'Eneolitico, in S. Tiné (éd.), *Il neolitico nella caverna delle Arene Candide : scavi 1972-1977*, Istituto Internazionale di studi liguri, Bordighera, p. 209-218.

Ogrinc (N.), Budja (M.) 2005, Palaeodietary reconstruction of a neolithic population in Slovenia: a stable isotope approach, *Chemical Geology* 218: 103-116.

Orland (B.) 2003, Cow's milk and human disease. Bovine tuberculosis and the difficulties involved in combating animal diseases, *Food and History*, 1: 179-202.

Paccard (M.) 1957, L'abri n°2 du Fraischamp à la Roque sur Pernes (84), *Cahiers ligures de Préhistoire et d'archéologie* 6 : 112-154.

Paccard (M.) 1993, Datations carbone-14, in M. Paccard, C. Bouville (éds.), *La grotte d'Unang Malemort-du-Comtat*, Document d'Archéologie Vauclusienne, Avignon, p. 200.

Papathanasiou (A.) 2003, Stable isotope analysis in neolithic Greece and possible implications on human health, *International Journal of Osteoarchaeology* 13: 314-324.

- Parker Pearson (M.) 2003, *The archaeology of death and burials*, Sutton, Stroud, 256 p.
- Parkington (J.) 1991, Approaches to dietary reconstruction in the western cape: are you what you have eaten ?, *Journal of Archaeological Science* 18: 331-342.
- Pearson (S.F.), Levey (D.J.), Greenberg (C.H.), Del Rio (C.M.) 2003, Effects of elemental composition on the incorporation of dietary nitrogen and carbon isotopic signatures in an omnivorous songbird, *Oecologia* 135: 516-523.
- Pechenkina (E.A.), Ambrose (S.H.), Xiaolin (M.), Benfer (R.A.) 2005, Reconstructing northern Chinese Neolithic subsistence practices by isotopic analysis, *Journal of Archaeological Science* 32: 1176-1189.
- Pérez-Pérez (A.), Chimenos (C.), Lalueza (C.), Mercadal (O.) 1995, Human remains from the Mesolithic site of El Collado (Olivia, Valencia, Spain), *Homo*, 45: 243-256.
- Perlès (C.) 2001, Early Neolithic subsistence economy: the domestic and the wild, in C. Perlès (éd.), *The early Neolithic in Greece*, Cambridge University Press, Cambridge, p. 152-172.
- Person (A.), Bocherens (H.), Mariotti (A.), Renard (M.) 1996, Diagenetic evolution and experimental heating of bone phosphate, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 126: 135-149.
- Peterson (B.J.), Fry (B.) 1987, Stable isotopes in ecosystem studies, *Annual Review of Ecology and Systematics* 18: 293-320.
- Pétrequin (A.M.), Pétrequin (P.) 1988, *Le Néolithique des lacs. Préhistoire des lacs de Chalain et de Clairvaux (4000-2000 av. J.-C.)*, Errance, Paris, 285 p.
- Pettitt (P.B.), Richards (M.P.), Maggi (R.), Formicola (V.) 2003, The Gravettian burial known as the Prince ("Il Principe"): new evidence for his age and diet, *Antiquity* 77: 15-19.
- Petzke (K.J.), Boeing (H.), Klaus (S.), Metges (C.C.) 2002, Carbon and nitrogen isotopic composition of hair protein and amino acids can be used as biomarkers for animal-derived dietary protein intake in humans, *American Society for Nutritional Science* 135: 1515-1520.
- Philibert (D.) 1991, Mésolithique et néolithisation : une même réalité, in A. Thevenin (éd.), *Mésolithique et Néolithique en France et dans les régions limitrophes*, C.T.H.S., Paris, p. 113-125.
- Phillips (A.-P.) 1982, *The Middle Neolithic in Southern France*, B.A.R. International Series, Oxford, 142 p.
- Phillips (D.L.) 2001, Mixing models in analyses of diet using multiple stable isotopes: a critique, *Oecologia* 127: 166-170.
- Phillips (D.L.), Koch (P.L.) 2002, Incorporating concentration dependence in stable isotope mixing models, *Oecologia* 130: 114-125.
- Phillips (D.L.), Gregg (J.W.) 2003, Source partitioning using stable isotopes: coping with too many sources, *Oecologia* 136: 261-269.
- Phillips (P.) 1990, Processus de néolithisation : délais et tendances, in D. Cahen, M. Otte (éds.), *Rubané et Cardial*, Etudes et recherches archéologiques de l'Université de Liège, Liège, p. 229-230.

- Piontek (J.) 2003, Two models of adaptive strategies of the Neolithic populations from the Central Europe and their biological consequences, in J. Brůžek, B. Vandermeersch, M.D. Garralda (éds.), *Changements biologiques et culturels en Europe de la fin du Paléolithique moyen au Néolithique*, Laboratoire d'Anthropologie des Populations du Passé, Talence, p. 169-183.
- Platzer (W.) 2001, *Atlas de poche d'anatomie. 1-Appareil locomoteur*, Flammarion, Paris, 461 p.
- Poirier (J.), Ribadeau-Dumas (J.L.), Catala (M.), Gherardi (R.), Bernaudin (J.F.) 1997, *Histologie moléculaire*, Masson, Paris, 416 p.
- Polet (C.), Katzenberg (M.A.) 2003, Reconstruction of the diet in a medieval monastic community from the coast of Belgium, *Journal of Archaeological Science* 30: 525-533.
- Polet (C.), Orban (R.), Herbosch (A.) 1994, Différences sexuelles des teneurs en zinc et en strontium dans les ossements humains de quelques échantillons médiévaux de Belgique (résultats préliminaires), in L. Buchet (éd.), *La femme pendant le Moyen Age et l'époque moderne*, C.N.R.S., Paris, p. 173-188.
- Polet (C.), Orban (R.) 2001, *Dents et ossements humains : que mangeait-on au Moyen Age*, Brepols, Belgique, 173 p.
- Ponel (P.) 2005, Les insectes, marqueurs des climats du passé, in M.-P. Horard-Herbin, J.-D. Vigne (éds.), *Animaux, environnements et sociétés*, Errance, Paris, p. 43.
- Pons (A.), Quézel (P.) 1998, A propos de la mise en place du climat méditerranéen, *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2, Sciences de la terre et des planètes* 327 : 755-760.
- Poulain-Josien (T.) 1993, Etude des restes osseux (de faune), in M. Paccard, C. Bouville (éds.), *La grotte d'Unang Malemort-du-Comtat*, Document d'Archéologie Vauclusienne, Avignon, p. 151-171.
- Pouydebat (E.) 1997, *Approche biogéochimique de l'alimentation humaine dans le site préneolithique du Monte Leone (VIIIe millénaire av J.-C ; Bonifacio Corse-du-Sud)*, Mémoire de Maîtrise d'Archéologie, Université Paris I, 84 p.
- Price (T.D.), Gebauer (A.B.), Keeley (L.H.) 1995, The spread of farming into Europe north of the Alps, in T.D. Price, A.B. Gebauer (éds.), *Last hunters-first farmers. New perspectives on the prehistoric transition to agriculture*, Scholl of American Research Press, Santa Fe, p. 95-126.
- Privat (K.L.), O'connell (T.C.), Richards (M.P.) 2002, Stable isotope analysis of human and faunal remains from the anglo-saxon cemetery at Berinsfield Oxfordshire: dietary and social implications, *Journal of Archaeological Science* 29: 779-790.
- Prowse (T.), Schwarcz (H.P.), Saunders (R.S.), Macchiarelli (R.), Bondioli (L.) 2005, Isotopic evidence for age related variation in diet from Isola Sacra, *American Journal of Physical Anthropology* 128: 2-13.
- Puertas (O.), Richard (H.) 2003, Impact de l'Homme sur le couvert végétal entre environ 6300 et 3400 cal. BC d'après l'analyse pollinique des sédiments lagunaires de l'étang de Méjan (Hérault, France), in B. Vandermeersch (éd.), *Echanges et diffusion dans la Préhistoire Méditerranéenne*, C.T.H.S, paris, p. 83-89.
- Raisz (L.G.) 1988, Le métabolisme osseux et sa régulation hormonale, *Triangle* 28 : 171-178.

- Ramos-Elorduy (J.) 1996, Rôle des insectes dans l'alimentation en forêt tropicale, in C.M. Hladik, A. Hladik, H. Pagezy, O.F. Linares, G.J.A. Koppert, A. Froment (éds.), *L'alimentation en forêt tropicale. Interactions bioculturelles et perspectives de développement*, U.N.E.S.C.O., Paris, p. 371-382.
- Regert (M.) 2001, Productions techniques et résidus alimentaires préhistoriques : les apports de la chimie organique, *Technè* 13-14: 71-77.
- Renfrew (C.), Bahn (P.) 2000, *Archaeology: theories methods and practices*, Thames et Hudson, Londres, 656 p.
- Richards (A.I.) 1932, *Hunger and work in a savage tribe a functional study of nutrition among the southern Bantu*, Routledge, Londres, 234 p.
- Richards (M.P.) 2003, Explaining the dietary isotope evidence for the rapid adoption of the Neolithic in Britain, in M. Parker-Pearson (éd.), *Food culture and identity in the Neolithic and early Bronze Age*, B.A.R. International Series, Oxford, p. 31-36.
- Richards (M.P.), Hedges (R.) 1999, Stable isotope evidence for similarities in the types marine food used by late mesolithic humans at sites along the Atlantic coast of Europe, *Journal of Archaeological Science* 26: 712-722.
- Richards (M.P.), Schulting (R.J.) 2000, Caractérisation de la subsistance pendant le Mésolithique britannique. Nouvelles informations d'après l'analyse des isotopes stables, *Les Nouvelles de l'Archéologie* 80: 20-26.
- Richards (M.P.), Fuller (B.T.), Hedges (R.E.M.) 2001a, Sulphur isotopic variation in ancient bone collagen from Europe: implication for human palaeodiet residence mobility and modern pollutant studies, *Earth and Planetary Science Letters* 185-190.
- Richards (M.P.), Hedges (R.E.M.), Walton (I.), Stoddart (S.), Malone (C.) 2001b, Neolithic diet at the Brochtorff Circle, Malta, *European Journal of Archaeology* 4: 253-262.
- Richards (M.P.), Hedges (R.E.M.) 2003, Variations in bone collagen $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ values of fauna from Northwest Europe over the last 40000 years, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 193: 261-267.
- Richards (M.P.), Fuller (B.T.), Sponheimer (M.), Robinson (T.), Ayliffe (L.) 2003a, Sulphur isotopes in palaeodietary studies: a review and results from controlled feeding experiment, *International Journal of Osteoarchaeology* 13: 37-45.
- Richards (M.P.), Pearson (J.A.), Molleson (T.I.), Russel (N.), Martin (L.) 2003b, Stable isotope evidence of diet at Neolithic Çatalhöyük, Turkey, *Journal of Archaeological Science* 30: 67-76.
- Richards (M.P.), Price (T.D.), Koch (E.) 2003c, Mesolithic and Neolithic subsistence in Denmark: new stable isotope data, *Current Anthropology* 44: 1-8.
- Richards (M.P.), Jacobi (R.), Cook (J.), Pettitt (P.B.), Stringer (C.B.) 2005, Isotope evidence for the intensive use of marine foods by late upper palaeolithic humans, *Journal of Human Evolution* 49: 390-394.
- Richards (M.P.), Jacobi (R.), Stringer (C.), Pettitt (P.B.), Cook (J.) 2006, Marine diets in the European late Upper Palaeolithic: a reply to Bocherens and Drucker (2006), *Journal of Human Evolution*.

- Ricq de Bouard (M.) 1993, L'outillage de pierre polie. Caractérisation et provenance de la matière première, in M. Paccard, C. Bouville (éds.), *La Grotte d'Unang à Malemort-du-Comtat*, Document d'Archéologie Vauclusienne, Avignon, p. 172-175.
- Riquet R. 1967, *Populations et races au Néolithique et au Bronze ancien. L'âge du Bronze dans le Medoc*, Université Bordeaux 1, Bordeaux, 434 p.
- Riquet R. 1970, *Anthropologie du Néolithique et du Bronze Ancien*, S.F.I.L., Poitiers, 279 p.
- Robbins (C.T.), Hilderbrand (G.V.), Farley (S.D.) 2002, Incorporating concentration dependence in stable isotope mixing models: a response to Phillips and Koch, *Oecologia* 133: 10-13.
- Robert (P.) 1986, *Le petit Robert 1. Dictionnaire alphabétique et analogique de la langue française*, Dictionnaires Le Robert, Paris, 2172 p.
- Rodière (E.) 1995, *Variations des abondances isotopiques naturelles au sein d'une population de chevreuils (Capreolus capreolus L.)*, Mémoire de DEA de biodiversité génétique et évolution, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 36 p.
- Rodière (E.), Bocherens (H.), Angibault (J.M.), Mariotti (A.) 1996, Particularités isotopiques de l'azote chez le chevreuil (*Capreolus capreolus L.*) : implications pour les reconstitutions paléoenvironnementales, *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 3, Sciences de la vie* 323: 179-185.
- Roth (J.D.), Hobson (K.A.) 2000, Stable carbon and nitrogen isotopic fractionation between diet and tissue of captive red fox : implications for dietary reconstruction, *Canadian Journal of Zoology* 78: 848-852.
- Roubet (C.) 2003, Statut de berger des communautés atlasiques néolithisées du Maghreb oriental dès 7000 BP, *L'Anthropologie* 393-442.
- Roudil (J.L.) 1992, *Les premiers paysans de l'Ardèche préhistorique de 6000 à 2000 av. J.-C.*, Privas, Toulouse, 81 p.
- Roussot-Larroque (J.) 1990, Rubané et Cardial : le poids de l'Ouest, in D. Cahen, M. Otte (éds.), *Rubané et Cardial*, Etudes et recherches archéologiques de l'Université de Liège, Liège, p. 315-360.
- Rowley-Conwy (P.) 1997, The animal bones from Arene Candide. Final report, in R. Maggi (éd.), *Arene Candide : a functional and environmental assessment of the Holocene sequence (excavation Bernabò Brea-Cardini, 1940-1950)*, Memorie dell'Istituto Italiano di Paleontologia Umana, Rome, p. 153-277.
- Royer (J.M.) 1988, Un aspect de l'économie des néolithiques en Languedoc oriental. Contribution à la problématique du Puech de la Fontaine (Congénies, Gard), in P. Boutié (éd.), *Le Chasséen en Languedoc oriental Hommage à Jean Arnal. Actes des journées d'études (Montpellier octobre 1985)*, Université de Montpellier, Montpellier, p. 289-321.
- Schapira (G.) 1970, *Biochimie humaine. Physiologie et sémiologie*, Flammarion, Paris, 323 p.
- Scheuer (L.), Black (S.) 2000, *Developmental juvenile osteology*, Elsevier Academic Press, Oxford, 587 p.
- Schmitt (A.) 2001, *Variabilité de la senescence du squelette humain. Réflexions sur les indicateurs de l'âge au décès : à la recherche d'un outil performant*, Thèse de doctorat, Bordeaux 1, Talence, 347 p.

- 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* 14: 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* 17: 89-101.
- Schmitt (A.), Broca (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* 12 : 279-301.
- Schoeninger (M.J.), DeNiro (M.J.), Tauber (H.) 1983, Stable Nitrogen isotope ratios of bone collagen reflect marine and terrestrial components of prehistoric human diet, *Science* 220: 1381-1383.
- Schoeninger (M.J.), DeNiro (M.J.) 1984, Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48: 625-639.
- Schoeninger (M.J.), Moore (K.M.), Murray (M.L.), Kingston (J.D.) 1989, Detection of bone preservation in archaeological and fossil samples, *Applied geochemistry* 4: 281-292.
- Schour (I.), Massler (M.) 1941, The development of the human dentition, *Journal of the American Dental Association*, 28: 1153-1160.
- Schulting (R.), Richards (M.P.) 2001, Dating women and becoming farmers: new palaeodietary and A.M.S. dating evidence from the Breton Mesolithic cemeteries of Téviec and Hoëdic, *Journal of Anthropological Archaeology* 20: 314-344.
- Schulting (R.), Richards (M.P.) 2002, The wet the wild and the domesticated: the Mesolithic-Neolithic transition of the west of Scotland, *European Journal of Archaeology* 5: 147-189.
- Schurr (M.R.) 1997, Stable nitrogen isotopes as evidence for the age of weaning at the Angel site: comparison of isotopic and demographic measures of weaning age, *Journal of Archaeological Science* 24: 919-927.
- Schutkowski (H.), Herrmann (B.), Wiedemann (F.), Bocherens (H.), Grupe (G.) 1999, Diet status and decomposition at Weingarten: trace element and isotope analyses on early medieval skeletal material, *Journal of Archaeological Science* 26: 675-685.
- Schwarcz (H.P.) 1991, Some theoretical aspects of isotope paleodiet studies, *Journal of Archaeological Science* 18: 261-275.
- Schwartz (D.) 1963, *Méthodes et statistiques à l'usage des médecins et des biologistes*, Flammarion, Paris, 314 p.
- Seemann (J.R.), Sharkey (T.D.) 1986, Salinity and nitrogen effects on photosynthesis Ribulose 1,5 Bisphosphate Carboxylase and metabolite pool sizes in *Phaseolus vulgaris L.*, *Plant Physiology* 82 : 555-560.
- Semal (P.), Orban (R.) 1995, Collagen extraction from recent and fossil bones: quantitative and qualitative aspects, *Journal of Archaeological Science* 22: 463-467.
- Sénépart (I.) 1993, Quelques remarques à propos de l'exploitation de la faune sauvage dans l'industrie de l'os néolithique du sud-est de la France (Languedoc oriental, basse vallée du Rhône, Provence), in J. Desse, F. Audoin-Rouzeau (éds.), *Exploitation des animaux sauvages à travers le temps. Actes des XIIIe*

rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes (15-17 octobre 1992), A.P.D.C.A., Juan-les-Pins, p. 293-301.

Sénépart (I.) 1998, Données récentes sur le site Cardial du Baratin (Couthézon Vaucluse), in A. D'Anna, D. Binder (éds.), *Production et identité culturelle : actualité de la recherche : actes de la deuxième session, Arles (8-9 novembre 1996)*, A.P.D.C.A., Antibes, p. 427-434.

Sénépart (I.) 2000, Gestion de l'espace au Néolithique ancien dans le midi de la France : l'exemple du Baration à Couthézon, in M. Leduc, N. Valdeyron, J. Vaquer (éds.), *Sociétés et espaces. Rencontres méridionales de préhistoire récente, troisième session, Toulouse (6-7 novembre 1998)*, Archives d'Ecologie Préhistorique, Toulouse, p. 51-58.

Sénépart (I.) 2004, Derniers chasseurs et premiers paysans de Vaucluse. Mésolithique et Néolithique ancien : 7000-4700 av. J.-C. Les sépultures, in J. Buisson-Catil, A. Guilcher, C. Husy, M. Olive, M. Pagni (éds.), *Vaucluse Préhistorique : Le territoire, les hommes, les cultures et les sites*, A. Barthélemy, Avignon, p. 161.

Sergi (S.), Parenti (R.), Paoli (G.) 1974, Il giovane Paleolitico della Caverna delle Arene Candide, *Memorie dell'Istituto Italiano di Paleontologia Umana*, 2: 13-38.

Sidéra (I.) 2003, De l'usage des produits de la chasse pour différencier les hommes. Fonctions votive et sociale de la chasse au Néolithique ancien et moyen du Bassin parisien, in P. Chambon, J. Leclerc (éds.), *Les pratiques funéraires néolithiques avant 3500 av. J.-C. en France et dans les régions limitrophes : table ronde S.P.F, Saint-Germain-en-Laye (15-17 juin 2001)*, Société préhistorique française, Paris, p. 92-98.

Sillen (A.), Sealy (J.C.), van der Merwe (N.J.) 1989, Chemistry and palaeodietary research: no more easy answers, *American Antiquity* 54: 504-512.

Smith (B.H.) 1984, Patterns of molar wear in hunter-gatherers and agriculturalist, *American Journal of Physical Anthropology* 63: 39-56.

Smith (B.N.), Epstein (S.) 1971, Two categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios for higher plants, *Plant Physiology* 47: 380-384.

Smrcka (V.), Buzek (F.), Erban (V.), Berkovec (T.), Dockalova (M.), Neumanova (K.), Nyvltova Fisakova (M.) 2005, Carbon, nitrogen and strontium isotopes in the set of skeletons from the Neolithic settlement at Vedrovice (Czech republic), *Anthropologie* 63: 315-323.

Sobotta (J.) 2002, Sobotta atlas of human anatomy (CD-ROM), R. Putz, R. Pabst (éds.), 13^{ème} édition, version 2.0, Urban & Fischer, Munich.

Sorrentino (C.) 1999, Faune terrestri, in S. Tiné (éd.), *Il neolitico nella caverna delle Arene Candide: scavi 1972-1977*, Istituto Internazionale di studi liguri, Bordighera, p. 66-109.

Soto-Heim (P.) 2001, Considérations sur la stature des populations sub-actuelles de Patagonie et extrême sud d'Amérique, *Biométrie humaine et anthropologie* 19 : 257-264.

Sponheimer (M.), Lee-Thorp (J.) 1999, Oxygen isotope in enamel carbonate and their ecological significance, *Journal of Archaeological Science* 26: 723-728.

- Sponheimer (M.), Robinson (T.), Ayliffe (L.), Roeder (B.), Hammer (J.), Passey (B.H.), West (A.), Cerling (T.E.), Dearing (M.D.), Ehleringer (J.R.) 2003a, Nitrogen isotopes in mammalian herbivores : hair $\delta^{15}\text{N}$ values from a controlled feeding study, *International journal of osteoarchaeology* 13: 80-87.
- Sponheimer (M.), Robinson (T.F.), Roeder (B.L.), Passey (B.H.), Ayliffe (L.K.), Cerling (T.E.), Dearing (M.D.), Ehleringer (J.R.) 2003b, An experimental study of nitrogen flux in llamas: is ^{14}N preferentially excreted ?, *Journal of Archaeological Science* 30: 1-7.
- Starnini (E.) 1999, Industria litica scheggiata, in S. Tiné (éd.), *Il neolitico nella caverna delle Arene Candide : scavi 1972-1977*, Istituto Internazionale di studi liguri, Bordighera, p. 219-236.
- Statsoft (France) 2005, *STATISTICA (logiciel d'analyse de données) version 7.1.*, www.statsoft.fr.
- Steckel (R.H.), Rose (J.C.), Larsen (C.S.), Walker (P.L.) 2002, Skeletal health in the western hemisphere from 4000 B.C. to the present, *Evolutionary Anthropology* 11: 142-155.
- Stewart (R.J.C.) 1975, Bone pathology in experimental malnutrition, *World Review of Nutrition and Dietetics* 21: 1-74.
- Stloukal (M.), Hanáková (H.) 1978, Die Länge der Längsknochen altslavischer Bevölkerungen-Unter besonderer Berücksichtigung von Wachstumsfragen, *Homo*, 29: 53-69.
- Stuart-Macadam (P.) 1985, Porotic hyperostosis: representative of a childhood condition, *American Journal of Physical Anthropology*, 66: 391-398.
- Stuiver (M.), Braziunas (T.F.) 1987, Tree cellulose $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotope ratios and climatic change, *Nature* 328: 58-60.
- Subirà (M.E.), Malgosa (A.) 1996, Análisis químico y de dieta en la Bòbila Madurell (Sant Quirze del Vallés Barcelona) Diferencias sociales. Actes I congrés del Neolític a la Península Ibèrica Formació i implantació de les comunitats agrícoles, *Rubricatum Revista del Museu de Gavà* 2: 581-584.
- Sullivan (C.H.), Krueger (H.W.) 1981, Carbon isotope analysis of separate chemical phases in modern fossil bone, *Nature* 292: 333-334.
- Susanne (C.) 1993, Croissance et nutrition, *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris* 5: 69-83.
- Susanne (C.), Polet (C.) 2005, *Dictionnaire d'anthropobiologie*, de Boeck, Bruxelles, 401 p.
- Susini (A.) 1988, *Etudes des caractéristiques biophysiques des tissus calcifiés humains (os émail dentine) soumis à des traitements thermiques. Applications anthropologiques et médicales*, Thèse de Doctorat, Université de Genève, Genève, 300 p.
- Takahashi (C.M.), Nelson (D.E.), Southon (J.S.) 2002, Radiocarbon and stable isotope analyses of archaeological bone consolidated with hide glue, *Radiocarbon* 44: 59-62.
- Takeda (J.), Sato (H.) 1996, Stratégies de subsistance et apports en protéines du régime alimentaire des cultivateurs Ngandu et Boyla de la cuvette centrale du Zaïre, in C.M. Hladik, A. Hladik, H. Pagezy, O.F. Linares, G.J.A. Koppert, A. Froment (éds.), *L'alimentation en forêt tropicale : interactions bioculturelles et perspectives de développement. Volume II, Bases culturelles des choix alimentaires et stratégies de développement*, U.N.E.S.C.O., Paris, p. 771-780.

- Tanda (G.) 1999, Origine et développement du Néolithique en Sardaigne, in J. Vaquer (éd.), *Le Néolithique du Nord-Ouest méditerranéen : actes du colloque international, Carcassonne (26-30 septembre 1994)*, Société préhistorique française, Paris, p. 65-76.
- Tauber (H.) 1981, ^{13}C evidence for dietary habits of prehistoric man in Denmark, *Nature* 292: 332-333.
- Tauber (H.) 1983, ^{14}C dating of human beings in relation to dietary habits, *PACT*, 8: 365-375.
- Tcheremissinoff (Y.) 2003, Les sépultures chasséennes de Narbons (Haute Garonne) : description comparaison et fonctionnement, in P. Chambon, J. Leclerc (éds.), *Les pratiques funéraires néolithiques avant 3500 av. J.-C. en France et dans les régions limitrophes : table ronde S.P.F, Saint-Germain-en-Laye (15-17 juin 2001)*, Société préhistorique française, Paris, p. 81-90.
- Tchérémissinoff (Y.), Martin (H.), Texier (M.), Vaquer (J.) 2005, Les sépultures chasséennes du site de Narbons à Montesquieu-de-Lauragais (Haute-Garonne), *Gallia Préhistoire* 47 : 1-32.
- Thiébaud (S.) 2005, L'Homme, la végétation et la montagne au Néolithique, in J. Guilaine (éd.), *Populations néolithiques et environnements. Séminaire du Collège de France*, Errance, Paris, p. 243-257.
- Thomas (J.) 2003, Thoughts on the 'Repacked' Neolithic Revolution, *Antiquity* 77: 67-74.
- Tieszen (L.L.) 1991, Natural variations in the carbon isotope values of plants: implications for archaeology, ecology and palaeoecology, *Journal of Archaeological Science* 18: 227-248.
- Tieszen (L.L.), Boutton (T.W.), Tesdahl (K.G.), Slade (N.A.) 1983, Fractionation and turnover of stable carbon isotopes in animal tissues: implication for ^{13}C analysis of diet, *Oecologia* 57 : 32-37.
- Tieszen (L.L.), Fagre (T.) 1993, Effect of diet quality and composition on the isotopic composition of respiratory CO_2 , bone collagen, bioapatite, and soft tissues, in J.B. Lambert, G. Grupe (éds.), *Prehistoric human bone. Archaeology at molecular level*, Springer-Verlag, Berlin, p. 121-155.
- Toolin (L.J.), Eastoe (C.J.) 1993, Late Pleistocene-recent atmospheric $\delta^{13}\text{C}$ record in C4 grasses, *Radiocarbon* 35: 263-269.
- Touffet (J.) 1982, *Dictionnaire essentiel d'écologie*, Ouest-France, Rennes, 108 p.
- Treinen-Claustre (F.) 1991, Rapports entre le groupe de Montbolo et le Chasséen, in A. Beeching, D. Binder, J.C. Blanchet, C. Constantin, J. Dubouloz, R. Martinez, D. Mordant, J.P. Thevenot, J. Vaquer (éds.), *Identité du Chasséen : actes du colloque international de Nemours (17-18-19 mai 1989)*, Association pour la promotion de la recherche archéologique en Ile-de-France, Nemours, p. 39-44.
- Trémolières (J.), Serville (Y.), Jacquot (R.) 1977, *Manuel élémentaire d'alimentation humaine. Tome 1, les bases de l'alimentation*, E.S.F., Paris, 527 p.
- Tresset (A.) 1990, Chasse élevage et alimentation carnée chez les premiers paysans de la vallée de la Petite Seine (fin du Ve-début du IIIe millénaire avant notre ère), *Mémoire de l'Académie des Sciences arts et belles lettres de Dijon* 131 : 199-208.
- Tresset (A.) 1996, *Le rôle des relations Homme/animal dans l'évolution économique et culturelle des sociétés des Ve-IVe millénaires av. J.-C. en Bassin parisien*, Thèse de doctorat, Université Paris I, Paris, 454 p.

- Tresset (A.), Vigne (J.D.) 2001, La chasse principal élément structurant la diversité des faunes archéologiques du Néolithique ancien en Europe tempérée et en Méditerranée : tentative d'interprétation fonctionnelle, in R.M. Arbogast, C. Jeunesse, J. Schibler (éds.), *Premières rencontres danubiennes, Strasbourg (20 et 21 novembre 1996) : actes de la première table-ronde : rôle et statut de la chasse dans le Néolithique ancien danubien (5500-4900 av. J.-C.)*, M. Leidorf, Rahden, p. 129-151.
- Tringham (R.) 2000, Southeastern Europe in the transition to agriculture in Europe: bridge buffer or mosaic, in T.D. Price (éd.), *Europe's first farmers*, Cambridge University Press, Cambridge, p. 19-56.
- Turban-Just (S.), Schramm (S.) 1998, Stable carbon and nitrogen isotope ratios of individual amino acids give new insights into bone collagen degradation, *Bulletin de la Société géologique de France* 169: 106-114.
- Ubelaker (D.H.) 1989, The estimation of age at death from immature human bone, in C. C. Thomas (éd.) *Age Markers in the Human Skeleton*, Springfield, Illinois, p. 55-70.
- Ulijasnek (S.J.) 2003, Trends in body size, diet and food availability in the Cook Islands in the second half of the 20th century, *Economics and Human Biology* 1: 123-127.
- Valentin (F.), Donat (R.), Claustre (F.) 2003, La gestion de l'espace sépulcral Néolithique moyen de la grotte de Montou (Pyrénées-orientales) : un essai d'interprétation, *Bulletin de la Société préhistorique française* 23 : 301-314.
- Valentin (F.), Bocherens (H.), Gratuze (B.), Sand (C.) 2006, Dietary patterns during the late prehistoric/historic period in Cikobia island (Fiji): insights from stable isotopes and dental pathologies, *Journal of Archaeological Science*, 33: 1396-1410.
- Vaquer (J.) 1986, Le Chasséen méridional. Etat de la Question, in J.D. Demoule, J. Guilaine (éds.), *Le Néolithique de la France : hommage à Gérard Bailloud*, Picard, Paris, p. 233-249.
- Vaquer (J.) 1990, *Le Néolithique en Languedoc oriental*, C.N.R.S., Paris, 398 p.
- Vaquer (J.) 1991, Aspects du Chasséen en Languedoc oriental. Habitat et culture matérielle, in A. Beeching, D. Binder, J.C. Blanchet, C. Constantin, J. Dubouloz, R. Martinez, D. Mordant, J.P. Thevenot, J. Vaquer (éds.), *Identité du Chasséen : actes du colloque international de Nemours (17-18-19 mai 1989)*, Association pour la promotion de la recherche archéologique en Ile-de-France, Nemours, p. 27-37.
- Vaquer (J.) 1998a, Le Midi méditerranéen de la France, in M. Otte, J. Guilaine (éds.), *Atlas du Néolithique européen. L'Europe occidentale*, Etudes et recherches archéologiques de l'Université de Liège, Liège, p. 413-500.
- Vaquer (J.) 1998b, Les sépultures du Néolithique moyen en France méditerranéenne, in J. Guilaine (éd.), *Sépultures d'Occident et genèses des mégalithismes : 9000-3500 avant notre ère. Séminaire du Collège de France*, Errance, Paris, p. 167-186.
- Vaquer (J.), Barbaza (M.) 1987, Cueillette ou horticulture mésolithique : la Balma de l'Abeurador, in J. Guilaine, J. Courtin, J.L. Roudil, J.L. Vernet (éds.), *Premières communautés paysannes en Méditerranée occidentale*, C.N.R.S., Paris, p. 231-242.
- Vaquer (J.), Duday (H.), Gandelin (M.), Hérouin (S.), Marsac (R.), Tresset (A.) 2001, *La tombe néolithique de Beaufort Coste Rouge (Hérault). Rapport de synthèse*, Service Régional de l'Archéologie de Languedoc-Roussillon, Montpellier, p. 23.

Vaquer (J.), Duday (H.), Gandelin (M.), Tresset (A.), Hérouin (S.), sous presse, *La tombe de Coste Rouge, Beaufort (Hérault) et la question des tombes à dalles néolithiques dans le nord-est des Pyrénées*. *Gallia Préhistoire*, 49.

Vella (C.), Morhange (C.) 2005, Archéologie et paléoenvironnement du littoral provençal, in X. Delestre (éd.), *15 ans d'archéologie en Provence-Alpes-Côte d'Azur*, Edisud, Aix-en-Provence, p. 54-65.

Vernet (J.L.) 1991, Ecologie de la néolithisation en France méditerranéenne, in A. Thevenin (éd.), *Mésolithique et Néolithique en France et dans les régions limitrophes*, C.T.H.S., Paris, p. 7-15.

Vernet (J.-L.) 2005, Du site archéologique aux paysages, une contribution de l'anthracologie, in J. Guilaine (éd.), *Populations néolithiques et environnements. Séminaire du Collège de France*, Errance, Paris, p. 261-276.

Vernet (J.-L.), Thiebault (S.), Heinz (C.) 1987, Nouvelles données sur la végétation préhistorique d'après l'analyse anthracologique, in J. Guilaine, J. Courtin, J.L. Roudil, J.L. Vernet (éds.), *Premières communautés paysannes en Méditerranée occidentale*, C.N.R.S., Paris, p. 87-94.

Vigié (B.) 1985, Préliminaires à une étude sur l'utilisation des produits de l'eau par les Hommes préhistoriques en Provence et en Languedoc, in Centre de Recherche Archéologiques en Belgique (éd.) *L'exploitation de la mer de l'Antiquité à nos jours. La mer, lieu de production*, APDCA, Valbonne, p. 53-64.

Vignaud (A.) 1998, La nécropole néolithique du Camp del Ginèbre de Caramany (Pyrénées-Orientales). Tombes nécropoles rites funéraires préhistoriques et historiques, in J. Guilaine, J. Vaquer (éds.), *Tombes, Nécropoles, Rites funéraires préhistoriques et historiques*, E.H.E.S.S., Toulouse, p. 19-29.

Vigne (J.-D.) 1993, Domestication ou appropriation pour la chasse: histoire d'un choix socio-culturel depuis le Néolithique. L'exemple des cerfs (*Cervus*), in J. Desse, F. Audoin-Rouzeau (éds.), *Exploitation des animaux sauvages à travers le temps. Actes des XIIIe rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes (15-17 octobre 1992)*, A.D.P.C.A., Juan-les-Pins, p. 201-220.

Vigne (J.-D.) 2000, Les débuts néolithiques de l'élevage des ongulés au Proche Orient et en Méditerranée, in J. Guilaine (éd.), *Premiers paysans du monde. Naissances des agriculteurs. Séminaire du Collège de France*, Errance, Paris, p. 143-168.

Vigne (J.-D.) 2004, Accumulation de lagomorphes et de rongeurs dans les sites mésolithiques corso-sardes : origines taphonomiques implications anthropologiques, in J. P. Brugal, J. Desse (éds.) *Petits animaux et sociétés humaines : du complément alimentaire aux ressources utilitaires : XXIVe rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes*, A.P.D.C.A., Antibes, p. 261-281.

Vigne (J.-D.) 2005, Maîtrise et usages de l'élevage et des animaux domestiques au Néolithique : quelques illustrations au Proche-Orient et en Europe, in J. Guilaine (éd.), *Populations néolithiques et environnements. Séminaire du Collège de France*, Errance, Paris, p. 87-116.

Vigne (J.D.), Helmer (D.) 1999, Nouvelles analyses sur les débuts de l'élevage dans le Centre et l'Ouest méditerranéen, in J. Vaquer (éd.), *Le Néolithique du Nord-Ouest méditerranéen : actes du colloque international, Carcassonne (26-30 septembre 1994)*, Société préhistorique française, Paris, p. 129-146.

Villa (P.) 1992, Cannibalism in prehistoric Europe, *Evolutionary Anthropology* 1: 93-104.

Villa (P.), Courtin (J.) 1983, The interpretation of stratified sites: a view from underground, *Journal of Archaeological Science* 10: 267-281.

- Villa (P.), Courtin (J.) 1991, Cannibalism in the Neolithic, *Nature* 351: 613-614.
- Villa (P.), Courtin (J.), Helmer (D.), Shipman (P.), Bouville (C.), Mahieu (E.) 1986, Un cas de cannibalisme au Néolithique. Boucherie et rejet de restes humains et animaux dans la grotte de Fontbrégoua à Salernes (Var), *Gallia Préhistoire* 29: 143-171.
- Villa (P.), Helmer (D.), Courtin (J.) 1985, Restes osseux et structures d'habitat en grotte : l'apport des remontages dans la Baume Fontbrégoua, *Bulletin de la Société préhistorique française* 82: 389-421.
- Virginia (R.A.), Delwiche (C.C.) 1982, Natural ¹⁵N abundance of presumed N₂ fixing and non N₂-fixing plants from selected ecosystems, *Oecologia* 57: 317-325.
- Vogel (J.C.), van der Merwe (N.J.) 1977, Isotopic evidence for early maize cultivation in New York state, *American antiquity* 42: 238-242.
- Vyhanek (L.), Strouhal (E.), Nemeckova (A.) 1999, Kissing osteochondroma: a case from ancient Egypt, *International Journal of Osteoarchaeology* 9: 361-368.
- Wapler (U.), Crubézy (E.), Schultz (M.) 2004, Is cribra orbitalia synonymous with anemia? Analysis and interpretation of cranial pathology in Sudan, *American Journal of Physical Anthropology*, 123: 333-339.
- Walker (P.L.) et DeNiro (M.J.) 1986, Stable nitrogen and carbon isotope ratios in bone collagen as indices of prehistoric dietary dependence on marine terrestrial resources in southern California, *American journal of Physical Anthropology* 71: 51-61.
- Watson (P.J.) 1986, A study of the pattern of alveolar recession, in E. Cruwys, R.A. Foley (éds.), *Teeth and Anthropology*, B.A.R. International Series, Oxford, p. 123-132.
- Weiss (M.-C.) 1998, La Corse, in M. Otte et J. Guilaine (éds.), *Atlas du Néolithique européen. L'Europe occidentale*, Etudes et recherches archéologiques de l'Université de Liège, Liège, p. 395-412.
- White (C.D.), Schwarcz (H.) 1989, Ancient Maya diet as inferred from isotopic and chemical analyses of human bone, *Journal of Archaeological Science* 16: 451-474.
- Wickmann (F.E.) 1952, Variation in the relative abundance of carbon isotopes in plants, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 2: 243-254.
- Williams (P.L.), Bannister (L.H.), Berry (M.M.), Collins (P.), Dussek (J.E.), Ferguson (M.W.J.) 1995, *Gray's anatomy*, Churchill Livingstone, New York, 2092 p.
- van Willigen (S.) 2003, Le Néolithique ancien entre Ligurie et Catalogne : actes du 125e congrès national des sociétés historiques et scientifiques (Lille, 2000), in R. Desbrosse, A. Thévenin (éds.), *Préhistoire de L'Europe. Des origines à l'Age du Bronze*, C.T.H.S, Paris, p. 389-412.
- van Willigen (S.) 2004, Aspects culturels de la néolithisation en Méditerranée occidentale: le Cardial et l'Epicardial, *Bulletin de la Société préhistorique française* 101: 463-496.
- Wolfe (L.D.), Gray (J.P.) 1982, Subsistence practices and human sexual dimorphism of stature, *Journal of Human Evolution* 11: 575-580.

Wright (L.E.), Schwarcz (H.P.) 1998, Stable carbon and oxygen isotopes in human tooth enamel: identifying breastfeeding and weaning in Prehistory, *American Journal of Physical Anthropology* 106: 411.

Wright (L.E.), Schwarcz (H.P.) 1999, Correspondence between stable carbon, oxygen and nitrogen isotopes in human tooth enamel and dentine: infant diets at Kaminaljuyù, *Journal of Archaeological Science* 26: 1159-1170.

Y'Edynak (G.), Fleish (S.) 1983, Microevolution and biological adaptation in the transition from food-collecting to food-producing in the Iron Gates of Yugoslavia, *Journal of Human Evolution* 12: 279-302.

Yesner (D.R.) 1980, Nutrition and cultural evolution, in N.W. Jerome, R.F. Kandel, G.K. Peltó (éds.), *Nutritional anthropology: contemporary approaches to diet and culture*, Redgrane Publishing, New York, p. 85-107.

Zammit (J.) 1998, Plaidoyer pour de nouveaux marqueurs socioculturels et biologiques des sépultures du Néolithique moyen du sud de la France, in A. d'Anna, D. Binder (éds.), *Production et identité culturelle : actualité de la recherche : actes de la deuxième session, Arles (8-9 novembre 1996)*, A.P.D.C.A., Antibes, p. 47-54.

Zilhao (J.) 1993, The spread of agro-pastoral economies across Mediterranean Europe: a view from the far west, *Journal of Mediterranean Archaeology* 6: 5-63.

Zilhao (J.) 2000, From the Mesolithic to the Neolithic in the Iberian peninsula, in T.D. Price (éd.), *Europe's first farmers*, Cambridge University Press, Cambridge, p. 144-182.

Zvelebil (M.), Lillie (M.) 2000, Transition to agriculture in eastern Europe, in T.D. Price (éd.), *Europe's first farmers*, Cambridge University Press, Cambridge, p. 57-92.

* * *

ANNEXES

Annexes du chapitre II

Annexe 1. Protocole analytique et méthode d'extraction réalisés au laboratoire EPOC UMR 5805 de l'Université Bordeaux 1.

Échantillonnage et préparation

Choix du prélèvement

Les échantillons osseux (ou dentaires) sont sélectionnés puis découpés à la scie. La sélection respecte, dans la mesure du possible, la préservation des squelettes (certains individus sont exposés dans les musées ou nécessitent des études supplémentaires) et les besoins de l'étude. Dans le meilleur des cas, avec 100 mg d'os frais (% N_{os} de 4.4) nous avons environ 18 mg de collagène (plus que deux fois suffisant pour les analyses). Si l'os fossile est bien conservé et que son % d'azote est proche de l'os frais (environ 4 %), nous pouvons espérer une extraction plus que suffisante avec 100 mg d'os. Au cours d'études expérimentales, Gurkinkel (1987) utilise environ 100 mg d'os pour l'extraction, dont la méthode est similaire à celle de Longin (1971), et obtient une quantité de collagène qui varie de 9 à 16 mg (l'échantillon est très bien conservé car il provient de matériel arctique). Dans le plus mauvais des cas (où le % de N de l'os brut atteint 0.4-0.5 %), il est nécessaire de prendre en compte au moins 800 mg d'os (estimation élargie pour palier les procédures techniques).

Traitements de fouille ou post-fouille : une attention particulière sur les consolidants

Certains échantillons ont été consolidés avec des « colles » (e.g. le « Paraloid B72 »). Ces traitements ne sont pas incompatibles avec des analyses isotopiques (Fizet, M., 1992 ; Moore *et al.*, 1989) si les agents de consolidation ne sont pas composés de collagène, dans quel cas il n'est pas possible d'effectuer de telles analyses. Le protocole d'extraction permet d'éliminer le consolidant, mais il est possible de supposer la présence de résidus si les taux de C/N sont anormalement élevés (Harrisson et Katzenberg, 2003). Dans ce travail nous prendrons en considération les précautions précédentes, cependant il existe actuellement des possibilités d'extraction du collagène endogène d'échantillons consolidés avec une colle organique (Takahashi *et al.*, 2002). Ces expériences se fondent sur les différences de solubilité des deux collagènes, permettant d'isoler le collagène endogène et d'effectuer des analyses isotopiques (¹³C et ¹⁵N). Malheureusement, ce protocole n'est pas encore bien abouti et les datations radiocarbones sur ces échantillons ne sont pas valables (*ibid.*). Pour les échantillons contenant de la « colle » (de synthèse), nous effectuons préalablement un nettoyage à l'acétone dans un bain à ultrasons pendant plusieurs minutes. L'opération est répétée jusqu'à obtenir la limpidité de

l'acétone. Une fois ce traitement terminé, des rinçages à l'eau distillée sont effectués. Les échantillons sont mis à sécher avant la suite du protocole. Notons que ce problème se retrouve assez souvent dans la littérature et qu'il est parfois difficile d'y remédier. Certains produits comme l'« Alvar » (Polyvinyl acétaldehyde acetal) sont dissous par l'acétone, mais d'autres constitués de composants organiques comme le « Beeswax » (mélange d'acides aliphatiques et d'ester) sont plus difficiles à traiter (Polet et Katzenberg, 2003). Dans ce dernier cas, le chlorure de méthylène (CH_2Cl_2) est choisi pour enlever le consolidant.

Préparation

L'os compact prélevé est gratté à la surface à l'aide d'une lame ou d'une fraise afin d'éliminer les parties extérieures altérées. Celui-ci est introduit dans un bain à ultrasons pendant 10 minutes, afin d'enlever les résidus de sédiment. Dans le cas des os traités par des consolidants, la procédure décrite antérieurement est appliquée. L'échantillon est rincé à l'eau distillée. Une fois sec, l'échantillon est réduit en poudre (à l'aide d'un mortier en agate) de granulométrie inférieure à 0,7 mm (cette granulométrie est vérifiée par le passage dans un tamis de 630 μm). Dans le cas où les échantillons sont très résistants, nous avons procédé au broyage par mortier mécanique : "Pulvérisette Fritsch". Afin d'éviter les contaminations, tout le matériel est lavé à l'eau déionisée entre chaque échantillon. La poudre obtenue nous permettra dans un premier temps d'effectuer les analyses élémentaires de l'os, puis dans un second temps les extractions de collagène.

Extraction du collagène

Déminéralisation

Cette phase permet d'enlever le phosphate de calcium et les minéraux et solubilise les acides fulviques. Quelques centaines de mg de poudre d'os sont décalcifiées dans l'acide chlorhydrique (HCl) de concentration 1 mol/L, à température ambiante pendant vingt minutes (par agitation magnétique). La solution d'acide est ensuite filtrée afin de séparer la phase solide qui sera récupérée par la suite, puis rincée. C'est une phase très importante dont le temps doit être contrôlé ; si le temps passé dans l'acide est trop long, le collagène risque d'être détérioré ; dans le cas contraire, la déminéralisation est incomplète (Ambrose, 1990 ; Grupe et Piepenbrink, 1986 ; Longin, 1971).

Purification

Cette étape permet d'enlever les contaminants venant du sol et les lipides (Brown *et al.*, 1988). Le résidu précédent est dissous dans une solution de soude (NaOH à 0,125 M), à température ambiante pendant 20 heures. La solution est ensuite filtrée, puis le résidu récupéré est rincé. Le traitement avec NaOH est nécessaire (lorsque l'on utilise pas d'ultrafiltre), malgré les risques de perte de collagène des os fossiles, car il détruit les acides humiques et fulviques (présents dans l'humus) qui sont les principales sources d'erreurs dans les résultats isotopiques obtenus (Fizet, 1992).

Solubilisation

Cette phase est une hydrolyse qui va solubiliser le collagène car la structure en triple hélice devient déroulable (Hedges et van Klinken, 1992). Le résidu est plongé dans HCl 0,01 mol/L. L'ensemble est porté à 100°C dans une étuve pendant 17 heures. Par la suite (à froid), la solution est filtrée afin de séparer la solution contenant le collagène des éventuels restes d'argiles.

Lyophilisation

Le filtrat est récupéré et congelé par de l'azote liquide (ou au congélateur) puis la matière organique est lyophilisée. La lyophilisation est un procédé de déshydratation à froid par lequel va s'opérer le passage de l'eau à l'état solide vers l'eau à l'état gazeux. Les échantillons vont donc être réduits uniquement à leur matière organique et se conserver à température ambiante dans un endroit sec. Une excellente lyophilisation est primordiale pour déterminer les concentrations exactes de C et N de l'échantillon.

Stockage

Une fois lyophilisé, le collagène peut prendre un aspect cuivré, avec une forte odeur ou bien avoir un aspect cotonneux, blanc. Les flacons sont étanchéifiés et peuvent être stockés temporairement avant l'analyse isotopique, dans un dessiccateur.

Remarque : la quantité de collagène extrait qui est analysée doit comporter une quantité de C et de N suffisante (soit 30 µg minimum chacun) pour dépasser le seuil de sensibilité de l'appareil ; les réglages de l'appareil sont optimisés pour abaisser ce seuil de sensibilité. Les concentrations en azote et en carbone de chaque échantillon sont mesurées (exprimées en % massique) ainsi que les rapports isotopiques : $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ et $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ (exprimés en ‰). Un calcul du rapport C/N (atomique) est effectué.

Annexe 2. Processus d'extraction de collagène réalisé au laboratoire de l'Institut Max-Planck d'Anthropologie Evolutive.

Échantillonnage et préparation

Tout comme au laboratoire EPOC, la méthode d'extraction utilisée à l'Institut Max Planck se fonde sur la méthode « d'extraction de collagène soluble », initialement mise au point par Longin (1971). Cependant, plusieurs modifications y sont apportées (Brown *et al.*, 1988 ; Morlan *et al.*, 1990 ; Nelson *et al.*, 1986) et notamment en ce qui concerne la séparation des molécules inférieures à 30 kD et supérieures à 30 kD. Les molécules supérieures à 30 kD ont un meilleur état de conservation et sont donc plus fiables pour une analyse isotopique et une datation radiométrique. Cette étape, notamment appelée ultrafiltration, permet également d'éliminer les contaminants de type acide humiques et fulviques et évite d'avoir recours au traitement NaOH (Lidén, 1995).

L'état de conservation de la matière organique osseuse est très différent d'un site à l'autre. Dans ce protocole, la pièce osseuse est préférée à la poudre car les rendements d'extraction de collagène semblent meilleurs. Pour les tests et les échantillons déjà étudiés à Bordeaux, nous avons utilisé la poudre d'os préparée en France. Pour les nouveaux échantillons, le protocole sur fragment osseux est appliqué. Dans le cas où l'os est mal préservé, un échantillon plus grand est prélevé. Environ 200-300 mg d'os sont suffisants si le C et N du collagène sont étudiés.

Extraction du collagène

Déminéralisation

L'acide chlorhydrique de concentration 0,5 M est stocké au réfrigérateur (environ 4°C). La quantité versée dans le tube est faible, environ 10 ml. L'ensemble des tubes est recouvert de papier aluminium. Le temps de déminéralisation est variable allant de 1 à 2 jours jusqu'à une ou 2 semaines. L'étape est finie lorsque l'échantillon est transformé en gélatine ; l'acide a terminé de réagir. Bien évidemment, plus l'échantillon est plongé longtemps dans l'acide, plus le risque de perte de collagène est grand. Si le processus de déminéralisation est long, il peut être nécessaire de changer l'acide. Lorsque la déminéralisation est complète, l'échantillon peut être rincé. On enlève l'acide délicatement puis on rince 3 fois à l'eau déionisée. Pour les échantillons réduits en poudre, il est nécessaire d'enlever l'acide après une première centrifugation.

Chauffage et filtration

Pour éviter l'oxydation dans l'étape du chauffage, les tubes doivent être remplis jusqu'en haut, juste au dessus du col, avec de l'eau déionisée. Quelques gouttes d'HCl 0.5M sont ajoutées dans l'eau avec une pipette, de manière à obtenir une solution de pH 3. Les tubes sont mis dans le bloc de chauffage, avec les bouchons. La température doit atteindre environ 70°C. Les tubes sont ensuite couverts de papier aluminium pour isoler la chaleur (le collagène se solubilise à environ 58°C) et le chauffage dure 48 h. Lorsque le chauffage est terminé, la solution doit être filtrée.

Ultrafiltration

Pour cette étape il est nécessaire de nettoyer les ultrafiltres tout d'abord avec une solution de NaOH à 0.5M, par centrifugation (20 minutes à 2500 rpm). Cette opération est ensuite répétée 3 fois avec de l'eau déionisée. Une fois propre, chaque ultrafiltre reçoit une quantité de collagène solubilisé. L'ultrafiltration s'effectue alors à 2500 rpm pendant une durée qui varie selon l'état de conservation du collagène (de 5 à 25 minutes voire plus). Une fois toute la solution de collagène filtrée pour chaque échantillon, seule la partie retenue au dessus du filtre (molécules supérieures à 30 KDa) est récupérée. Les échantillons sont ensuite congelés à -35 °C.

Lyophilisation

Une fois congelés, les échantillons sont placés dans un lyophilisateur pendant environ 48h. Lorsque la lyophilisation est terminée, les échantillons sont pesés et transférés dans leur contenant définitif, fermé de façon la plus hermétique possible.

Annexe 3. Résultats des analyses effectuées sur l'os dans le laboratoire EPOC

Echantillons	Sites	%C os	%N os	%C os théo	% C excédentaire os	Echantillons	Sites	%C os	%N os	%C os théo	% C excédentaire os
Sepulture 1 F1	Pendimoun	7,5	1,5	5,3	2,1	Capriné 7	Montou	9,2	2,7	8,7	0,5
Sepulture 2 F2	Pendimoun	7,9	1,9	6,4	1,4	Bovidé 1	Montou	5,0	1,0	4,1	0,9
Bos 1	Pendimoun	5,9	1,3	5,0	0,8	Bovidé 2	Montou	4,2	0,7	3,3	0,9
Cervus 1	Pendimoun	7,5	1,9	6,5	1,1	Bovidé 3	Montou	5,3	1,1	4,4	0,9
Sus 1	Pendimoun	8,1	2,0	6,7	1,4	Bovidé 4	Montou	5,6	1,4	5,2	0,4
Meles 1	Pendimoun	9,5	2,6	8,5	1,1	Bovidé 5	Montou	4,9	1,0	4,1	0,8
Capra 1	Pendimoun	5,4	0,6	2,9	2,5	Suidé 1	Montou	3,9	0,7	3,3	0,6
Cervus 21646	Pendimoun	11,5	3,5	10,7	0,8	Suidé 2	Montou	6,1	1,5	5,5	0,6
Bos 21192	Pendimoun	10,9	3,0	9,6	1,3	Suidé 3	Montou	5,1	1,2	4,6	0,5
Bos 21047	Pendimoun	9,7	2,7	8,6	1,1	Suidé 4	Montou	8,3	2,4	7,9	0,4
Sus 21609	Pendimoun	-	-	-	-	Suidé 5	Montou	4,9	1,2	4,6	0,3
Sus 21605	Pendimoun	10,0	2,9	9,2	0,8	Lagomorphe 1	Montou	8,8	2,4	7,9	0,9
Sus 21575	Pendimoun	6,9	1,6	5,7	1,2	Lagomorphe 2	Montou	8,9	2,6	8,4	0,5
capra 21551	Pendimoun	-	-	-	-	Lagomorphe 3	Montou	7,1	1,7	6,0	1,1
Ovis 20984	Pendimoun	10,1	2,8	9,0	1,1	SEP 1	Le Crès	5,7	1,3	4,9	0,8
Ovis 2449	Pendimoun	5,6	1,3	4,8	0,8	SEP 2	Le Crès	4,8	0,7	3,3	1,5
Ovis 3709	Pendimoun	5,1	1,2	4,7	0,4	SEP 3-A	Le Crès	4,0	0,6	3,0	1,0
Castellar néo récent	Pendimoun	10,0	1,2	4,6	5,4	SEP 5-A	Le Crès	2,8	0,1	1,7	1,1
F 36 homme	Les Plots	5,7	0,9	3,9	1,9	SEP 5-B	Le Crès	5,2	0,8	3,6	1,6
F 37 femme	Les Plots	3,9	0,5	2,7	1,2	SEP 5-C	Le Crès	3,8	0,7	3,3	0,5
F 49 homme	Les Plots	4,2	0,9	3,8	0,5	SEP 6	Le Crès	8,1	1,6	5,7	2,4
Suidé 1	Les Plots	4,7	0,7	3,2	1,4	SEP 7-A	Le Crès	6,2	1,5	5,5	0,7
Suidé 2	Les Plots	6,9	0,7	3,4	3,5	SEP 7-B	Le Crès	6,4	1,0	4,1	2,3
Suidé 3	Les Plots	5,4	1,2	4,6	0,8	SEP 8-A	Le Crès	5,8	1,4	5,2	0,6
Suidé 4	Les Plots	6,5	1,2	4,7	1,8	SEP 8-B	Le Crès	5,4	1,2	4,6	0,8
Ovicap 1	Les Plots	5,8	0,5	2,8	3,1	SEP 8-C	Le Crès	4,4	0,9	3,8	0,6
Ovicap 2	Les Plots	4,5	0,6	2,9	1,6	SEP 8-D	Le Crès	3,8	0,7	3,3	0,5
Ovicap 3	Les Plots	7,2	1,0	4,1	3,1	SEP 9	Le Crès	6,3	1,3	4,9	1,4
Ovicap 4	Les Plots	4,6	-	-	-	SEP 10-A	Le Crès	3,6	0,5	2,8	0,9
Ovicap 5	Les Plots	6,7	-	-	-	SEP 10-B	Le Crès	5,4	1,0	4,1	1,3
Canis	Les Plots	4,6	0,9	3,9	0,7	SEP 11-A	Le Crès	5,5	0,5	2,8	2,8
Bos 1	Les Plots	4,7	1,0	4,0	0,7	SEP 11-B	Le Crès	6,8	1,2	4,6	2,2
Bos 2	Les Plots	5,2	1,1	4,2	1,0	SEP 12-A	Le Crès	8,2	2,2	7,3	0,9
Bos 3	Les Plots	8,0	0,3	2,2	5,8	SEP 12-B	Le Crès	5,0	0,5	2,8	2,3
Bos 4	Les Plots	5,6	0,4	2,5	3,1	SEP 13	Le Crès	4,9	1,0	4,1	0,8
Bos 5	Les Plots	6,8	1,1	4,3	2,4	SEP 14	Le Crès	5,4	0,8	3,6	1,8
Cervus	Les Plots	5,6	1,2	4,6	1,1	SEP 15	Le Crès	6,5	1,7	6,0	0,5
Lagomorphe	Les Plots	8,1	0,3	2,2	5,9	SEP 16	Le Crès	4,1	0,8	3,6	0,5
St 1 homme	Les Plots	4,6	0,9	3,8	0,8	SEP 19	Le Crès	5,5	0,9	3,8	1,7
Adulte A	Montou	3,6	0,7	3,3	0,3	SEP 20-A	Le Crès	6,0	1,4	5,2	0,8
Adulte B	Montou	5,8	1,6	5,7	0,1	SEP 20-B	Le Crès	5,5	1,2	4,6	0,9
Adulte C	Montou	4,8	1,1	4,4	0,4	SEP 20-C	Le Crès	4,9	1,1	4,4	0,5
Adulte D	Montou	5,7	1,4	5,2	0,5	SEP 20-D	Le Crès	4,7	1,1	4,4	0,3
Adulte E	Montou	5,5	1,3	4,9	0,6	SEP 20-E	Le Crès	7,8	2,2	7,3	0,5
Enfant 1	Montou	5,9	1,4	5,2	0,7	SEP 21	Le Crès	8,8	2,5	8,2	0,6
Enfant 2	Montou	5,9	1,5	5,5	0,4	SEP 22	Le Crès	5,8	1,4	5,2	0,7
Enfant 3	Montou	11,3	3,4	10,6	0,7	SEP 23	Le Crès	4,8	0,6	3,0	1,8
Carnivore 1	Montou	8,0	2,4	7,9	0,1	SEP 26	Le Crès	3,5	0,5	2,8	0,8
Carnivore 3	Montou	5,7	1,4	5,2	0,5	SEP 27	Le Crès	5,5	0,2	1,9	3,6
Carnivore 4	Montou	5,7	1,2	4,7	1,0	SEP 28	Le Crès	5,4	1,1	4,4	1,0
Carnivore 5	Montou	5,4	1,2	4,6	0,8	SEP 29	Le Crès	5,8	1,3	4,9	0,9
Capriné 1	Montou	9,7	2,8	9,0	0,7	SEP 30	Le Crès	5,6	1,1	4,4	1,2
Capriné 2	Montou	8,5	2,5	8,2	0,4	SEP 31	Le Crès	5,6	1,0	4,1	1,5
Capriné 3	Montou	3,9	0,7	3,3	0,6	SEP 32	Le Crès	5,5	1,2	4,6	0,9
Mouton 4	Montou	4,2	0,7	3,3	0,9	SEP 33	Le Crès	4,2	0,5	2,8	1,5
Capriné 5	Montou	4,5	1,0	4,1	0,4	SEP 34	Le Crès	4,9	1,1	4,4	0,5
Mouton 6	Montou	9,7	2,8	9,0	0,7	SEP 35	Le Crès	6,8	1,4	5,2	1,6

Annexe 4. Corrélations entre le % C et le % N des ossements ainsi que le % N et le % C excédentaire.

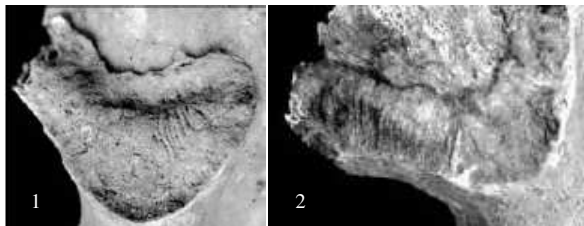
	Moyenne	Ec-Type	r(X,Y)	r ²	t	p	N	Constnte dép : Y	Pente dép : Y	Constnte dép : X	Pente dép : X
% C excédentaire os	1,21	1,05									
%N os	1,31	0,73	-0,35	0,12	-3,88	0,00	110,00	1,60	-0,24	1,87	-0,51
%C os	6,14	1,87									
%N os	1,31	0,73	0,85	0,73	16,88	0,00	110,00	-0,72	0,33	3,27	2,19

Annexe 5. Stades d'usure dentaire définis par Smith (1984) pour chaque type de dent.

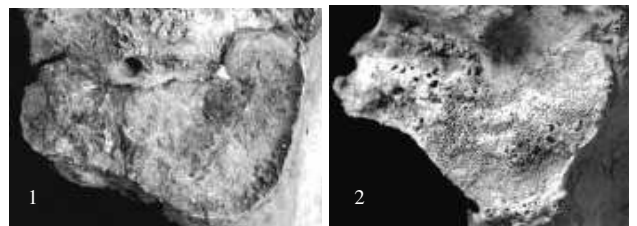
Stades	Molaires	Prémolaires	Incisives Canines
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

Annexe 6. Caractères de la surface sacro-pelvienne iliaque et différents scores utilisés dans la détermination de l'âge au décès des adultes de la méthode Schmitt (2005). Brève description des caractères de cotation (Schmitt, 2005 pp 91-92).

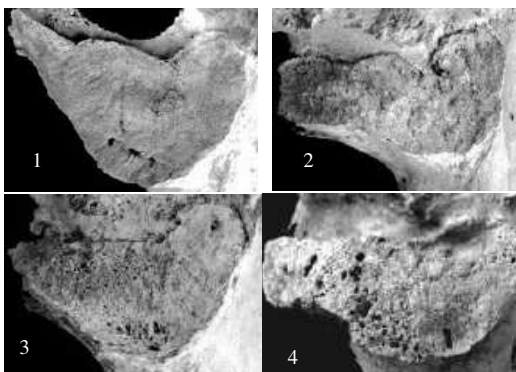
Organisation transverse, score 1 : présence d'ondulations ou de stries ; et 2 : absence d'ondulations ou de stries.



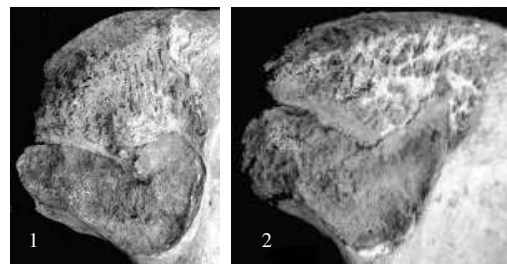
Modification apicale, score 1 : bord fin et 2 : bord épais et émoussé.



Modification de la surface auriculaire, score 1 : absence de granulation ; 2 : granulation sur la majorité de la surface ; 3 : granulation et porosité profonde et 4 : granulation et porosité profonde importante.



Modification de la tubérosité Iliaque, score 1 : tubérosité iliaque lisse et 2 : remaniements osseux ou enthèses.



Annexe 7. Estimation de l'âge au décès des adultes par la méthode Schmitt (2005).

Echantillon	Coxal	Scores				Probabilités <i>a posteriori</i>					Estimation (ans) à 80 %
		SSPIA	SSPIB	SSPIC	SSPID	20-29 ans	30-39 ans	40-49 ans	50-59 ans	>60 ans	
LC SEP 1	D	2	1	1	1	0,73	0,19	0,06	0,02	0,00	20-39
LC SEP 2	D	2	2	1	-	-	-	-	-	-	> 20
LC SEP 3a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LC SEP 5a	G	1	1	1	-	-	-	-	-	-	20-49
LC SEP 5b	D	2	2	1	1	0,19	0,41	0,21	0,11	0,08	20-49
	G	2	2	1	1	0,19	0,41	0,21	0,11	0,08	20-49
LC SEP 5C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LC SEP 6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LC SEP 8a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LC SEP 9	D	2	-	1	-	-	-	-	-	-	> 20
LC SEP 10b	D	2	2	1	1	0,19	0,41	0,21	0,11	0,08	20-49
LC SEP 11a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LC SEP 11b	G	2	2	1	-	-	-	-	-	-	> 20
LC SEP 12a	G	-	2	1	-	-	-	-	-	-	> 20
LC SEP 12b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LC SEP 13	D	2	2	1	2	0,02	0,26	0,24	0,23	0,26	> 30
LC SEP 14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LC SEP 15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LC SEP 16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LC SEP 22	D	-	3	1	-	-	-	-	-	-	> 40
LC SEP 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LC SEP 26	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LC SEP 27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LC SEP 28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LC SEP 29	D	2	3	2	-	-	-	-	-	-	> 50
LC SEP 30	G	2	3	2	-	-	-	-	-	-	> 50
LC SEP 32	D	2	3	2	2	0,00	0,00	0,05	0,11	0,84	> 60
LC SEP 34	D	2	2	2	-	-	-	-	-	-	> 30
LC SEP 35	D	2	2	1	1	0,19	0,41	0,21	0,11	0,08	20-49
	G	2	2	1	1	0,19	0,41	0,21	0,11	0,08	20-49
LP F36	G	2	1	1	1	0,73	0,19	0,06	0,02	0,00	20-39
LP F37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LP F49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LP ST1	G	2	2	1	1	0,19	0,41	0,21	0,11	0,08	20-49
Rastel	D	1	2	1	1	0,40	0,32	0,19	0,09	0,00	20-49
	G	1	2	1	1	0,40	0,32	0,19	0,09	0,00	20-49

Le “-“ indique que les parties anatomiques concernées sont manquantes ou très abîmées

Annexe 8. Résultats des standards utilisés au laboratoire EPOC

Standard EPOC glycine	%N	$\delta^{15}\text{N}$	% C	$\delta^{13}\text{C}$
Glycine				
gly-80.	17,97	1,73	32,23	-45,05
gly-82.	18,04	1,89	32,80	-45,24
gly-28.	18,83	2,93	31,73	-45,34
gly-29.	19,10	3,11	31,74	-45,14
gly-41.	17,90	2,67	31,32	-45,08
gly-42.	17,83	3,02	31,90	-45,08
gly-43.	18,33	3,00	31,07	-45,19
Moy	13,66	7,25	31,83	-45,16
σ	0,50	0,57	0,57	0,10

Standard EPOC N1	%N	$\delta^{15}\text{N}$
	21,37	0,33
	22,04	0,50
	21,02	0,35
	20,83	0,43
	20,54	0,61
	20,24	0,29
	21,85	0,58
	20,84	0,51
	21,71	0,63
Moy	21,13	0,47
σ	21,16	0,47
	0,58	0,12

Standard EPOC caséine	%N	$\delta^{15}\text{N}$	% C	$\delta^{13}\text{C}$
cas-75.	14,63	6,51	48,79	-22,71
cas-76.	14,22	6,15	49,50	-22,91
cas-77.	14,44	6,27	50,09	-22,97
cas-28.	14,38	6,10	48,58	-23,19
cas-29.	14,35	6,25	48,09	-23,04
cas-41.	13,91	6,34	48,30	-23,01
cas-42.	13,50	6,13	46,42	-23,00
cas-43.	13,78	6,27	47,69	-22,82
cas-25.	13,50	6,28	49,07	-23,14
cas-26.	13,75	6,51	50,46	-23,27
cas-27.	13,61	6,55	48,92	-23,08
cas-28.	14,02	6,51	49,18	-23,04
cas-29.	13,92	6,71	48,94	-23,07
cas-30.	13,59	6,59	47,85	-23,22
cas-31.	13,74	6,42	48,96	-23,21
cas-32.	14,12	6,49	48,80	-23,00
cas-33.	13,46	6,49	48,62	-23,09
cas-34.	13,68	6,61	51,99	-22,99
Moy	13,92	6,40	48,90	-23,04
σ	0,36	0,18	1,18	0,14

Standard EPOC N2	%N	$\delta^{15}\text{N}$
N2-39.	21,02	20,23
N2-40.	21,36	20,25
N2-41.	22,00	20,10
N2-42.	21,37	20,27
N2-43.	21,10	20,31
N2-44.	21,29	20,15
N2-45.	21,39	20,42
N2-46.	21,30	20,45
N2-47.	21,48	20,35
N2-48.	20,47	20,04
N2-49.	21,02	20,23
N2-50.	21,36	20,25
Moy	21,28	20,26
σ	0,39	0,13

Standards certifiés IAEA	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$
N1	0,4	
N2	20,3	
CH6		-10,4
CH7		-31,8

Standard EPOC CH7	$\delta^{13}\text{C}$
	-32,03
	-31,99
	-31,85
	-31,85
	-31,81
	-31,80
	-31,86
	-31,72
Moy	-31,86
σ	0,10

Annexe 9. Résultats des standards utilisés au laboratoire de l'Institut Max Planck (MPI-EVA).

Standard MPI-EVA Acide glutamique	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	% C	% N
Glut 40	-26,04	-4,55	40,73	9,70
Glut 40	-26,06	-4,42	40,88	9,72
Glut 40	-26,10	-4,51	41,03	9,74
Glut 40	-26,04	-4,55	40,73	9,70
Glut 40	-26,12	-4,52	40,43	9,60
Moy	-26,07	-4,51	40,76	9,69
σ	0,04	0,05	0,22	0,05

Standard MPI-EVA foie de bovins	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	% C	% N
Liver 1577b	-21,42	7,53	49,39	10,34
Liver 1577b	-21,48	7,53	49,92	10,39
Liver 1577b	-21,60	7,54	49,61	10,26
Liver 1577b	-21,48	7,62	49,58	10,29
Liver 1577b	-21,55	7,41	50,56	10,44
Liver 1577b	-21,60	7,52	49,52	10,31
Liver 1577b	-21,42	7,53	49,39	10,34
Liver 1577b	-21,48	7,53	49,92	10,39
Liver 1577b	-21,47	7,50	49,30	10,26
Liver 1577b	-21,57	7,44	49,55	10,38
Moy	-21,51	7,52	49,67	10,34
σ	0,07	0,06	0,37	0,06

Standard MPI-EVA méthionine	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	% C	% N
Methionine B	-26,49	-2,65	40,00	9,40
Methionine B	-26,44	-2,78	40,00	9,40
Methionine B	-26,46	-2,66	40,00	9,40
Methionine B	-26,50	-2,85	40,27	9,46
Methionine B	-26,49	-2,83	40,58	9,56
Methionine B	-26,40	-2,85	40,22	9,47
Methionine B	-26,45	-2,88	40,10	9,46
Methionine B	-26,56	-2,75	40,00	9,40
Methionine B	-26,45	-2,77	40,00	9,40
Methionine B	-26,48	-2,76	40,00	9,40
Methionine B	-26,55	-2,76	40,89	9,58
Methionine B	-26,46	-2,76	39,55	9,28
Methionine B	-26,51	-2,81	39,56	9,29
Methionine B	-26,48	-2,75	40,47	9,48
Methionine B	-26,55	-2,73	40,00	9,40
Methionine B	-26,55	-2,85	40,00	9,40
Methionine B	-26,53	-2,79	40,00	9,40
Methionine B	-26,55	-2,93	40,51	9,46
Methionine B	-26,61	-2,91	40,85	9,49
Methionine B	-26,52	-2,84	40,22	9,41
Methionine B	-26,56	-2,97	40,41	9,43
Methionine B	-26,49	-2,65	40,00	9,40
Methionine B	-26,44	-2,78	40,00	9,40
Methionine B	-26,46	-2,66	40,00	9,40
Methionine B	-26,50	-2,85	40,27	9,46
Methionine B	-26,49	-2,83	40,58	9,56
Methionine B	-26,40	-2,85	40,22	9,47
Methionine B	-26,45	-2,88	40,10	9,46
Methionine B	-26,50	-2,72	40,00	9,40
Methionine B	-26,50	-2,82	40,00	9,40
Methionine B	-26,53	-2,83	40,00	9,40
Methionine B	-26,45	-2,79	39,55	9,29
Methionine B	-26,51	-2,91	40,00	9,32
Methionine B	-26,55	-2,88	40,46	9,46
Methionine B	-26,56	-2,73	40,02	9,41
Moy	-26,50	-2,80	40,14	9,42
σ	0,05	0,08	0,31	0,07

Standard MPI-EVA N1 et CH6	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	% C	% N
N1	-10,21	0,54		
N1 CH6	-10,38	0,50	42,01	13,75
N1 CH6	-10,34	0,51	42,66	15,42
N1	-10,21	0,54		
N1 CH6	-10,24	0,48	41,94	17,77
Moy	-10,28	0,51	42,21	15,65
σ	0,08	0,03	0,39	2,02

Standard MPI-EVA N2 et CH7	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	% C	% N
N2	31,83	20,26		
N2 CH7	31,83	20,31	87,99	27,69
N2 CH7	31,92	20,15	87,94	25,36
N2	31,83	20,26		
N2 CH7	31,86	20,22	86,61	25,67
Moy	31,85	20,24	87,51	26,24
σ	0,04	0,06	0,78	1,26

Annexe 10. Résultats des standards utilisés au laboratoire Iso-Analytical.

Standard Iso-A					Standard Iso-A					
Foie de bovins					Foie de bovins					
% N	$\delta^{15}\text{N}$	% C	$\delta^{13}\text{C}$		% N	$\delta^{15}\text{N}$	% C	$\delta^{13}\text{C}$		
10,25	7,19	51,16	-21,67		9,74	7,16	49,42	-21,70		
10,67	7,25	52,66	-21,63		9,81	7,22	49,01	-21,64		
12,04	7,37	59,52	-21,60		9,54	7,41	47,29	-21,50		
10,04	6,98	50,12	-21,75		9,75	7,83	48,22	-21,74		
10,80	7,01	53,98	-21,62		10,21	7,28	51,19	-21,78		
10,03	7,44	49,82	-21,64		10,32	7,27	51,86	-21,61		
9,96	7,54	48,93	-21,54		9,50	7,65	47,52	-21,72		
10,69	7,28	53,30	-21,61		10,24	7,59	51,78	-21,76		
9,93	7,41	50,93	-21,78		10,25	7,15	52,16	-21,97		
9,96	7,35	50,00	-21,78		10,74	7,43	54,07	-21,69		
8,92	7,25	44,85	-21,62		10,77	7,26	53,27	-21,68		
10,69	7,24	53,43	-21,62		10,78	7,18	53,69	-21,70		
8,83	7,18	44,99	-21,74		9,37	7,28	49,26	-21,84		
10,66	7,75	52,67	-21,72		12,40	7,09	59,98	-21,67		
10,01	7,33	49,56	-21,71		7,79	7,23	40,16	-21,82		
10,38	7,13	48,02	-21,66		10,43	7,33	52,28	-21,57		
9,31	7,44	46,46	-21,73		10,04	7,31	51,55	-21,74		
10,16	7,19	50,67	-21,71							
10,34	7,10	51,55	-21,70							
					Moy	10,15	7,31	50,70	-21,69	
					σ	0,81	0,19	3,69	0,09	

Standard Iso-A	$\delta^{15}\text{N}$	Standard Iso-A	$\delta^{15}\text{N}$
IAEA-N-1		IAEA-N-2	
	0,74		20,41
	0,58		20,52
	0,31		20,32
	0,18		20,63
	0,55		20,49
	0,66		20,59
	0,75		20,44
	0,32		20,32
	0,65		20,43
	0,62		20,49
	0,37		20,28
	-0,20		20,41
	0,23		20,22
	0,38		20,34
	0,36	Moy	20,42
Moy	0,43	SD	0,12
σ	0,25		

Standard Iso-A	$\delta^{13}\text{C}$	Standard Iso-A	$\delta^{13}\text{C}$
IAEA-CH-6	(‰)	IA-R005	(‰)
	-10,34		-26,03
	-10,40		-25,97
	-10,32		-26,05
	-10,36		-25,94
	-10,35		-25,96
	-10,47		-26,07
	-10,40		-26,01
	-10,46		-25,99
	-10,39		-25,94
	-10,50		-25,92
	-10,59		-26,02
	-10,58		-26,11
	-10,73		-26,19
	-10,47		-26,15
Moy	-10,45		-26,20
σ	0,12	Moy	-26,04
		σ	0,08

Annexe 11. Résultats des différences de proportions de carbone et d'azote, du rapport C/N, du rendement et des valeurs isotopiques du collagène entre les laboratoires de Bordeaux (Bx) et de Leipzig (Lp).

Echantillons	Sites	%C	%N	C/N	Rendement	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
		Bx-Lp	Bx-Lp	Bx-Lp	Bx-Lp (mg/g)	Bx-Lp (‰)	Bx-Lp (‰)
Bœuf 402	Pendimoun	4,2	3,0	-0,4	63,7	0,5	0,4
Cerf 1	Pendimoun	-10,1	-2,3	-0,4	105,4	0,5	1,1
Suiné 352	Pendimoun	4,0	2,6	-0,3	40,9	0,4	0,2
Cerf 21646	Pendimoun	-12,2	-3,3	-0,3	76,3	0,2	-0,4
Bœuf 21192	Pendimoun	-7,7	-1,0	-0,4	51,4	0,5	-0,2
Suiné21575	Pendimoun	-19,7	-5,4	-0,4	44,3	0,5	0,3
Mouton 20984	Pendimoun	-7,8	-1,9	-0,2	58,0	0,1	1,2
Mouton 2449	Pendimoun	-8,1	-2,0	-0,2	39,7	0,2	0,4
F 37	Les Plots	2,0	1,4	-0,4	33,5	0,0	-0,2
F 49	Les Plots	11,9	5,1	-0,4	8,0	-0,2	-1,3
Suiné 1	Les Plots	-18,9	-4,5	-0,5	9,9	0,9	-1,2
Suiné 2	Les Plots	-10,7	-2,2	-0,5	35,7	0,0	-1,1
Suidé 3	Les Plots	-10,2	-3,0	-0,2	45,8	0,7	0,5
Suidé 4	Les Plots	-11,5	-3,1	-0,2	44,7	0,2	0,7
Capriné 2	Les Plots	0,2	0,8	-0,4	44,2	0,3	-1,0
Capriné 3	Les Plots	7,2	4,3	-0,7	61,9	-0,9	-0,4
Chien	Les Plots	-8,0	-2,9	0,1	27,7	0,6	-0,8
Bœuf 1	Les Plots	-10,5	-3,3	-0,1	29,5	0,5	-0,6
Bœuf 2	Les Plots	-14,7	-4,7	-0,2	54,1	0,3	1,7
Bœuf 5	Les Plots	3,1	1,3	-0,1	63,2	0,1	-1,2
Cerf	Les Plots	-15,2	-4,3	-0,3	48,0	0,3	0,6
St 1	Les Plots	-18,9	-5,6	-0,3	2,6	2,6	0,2
Adulte B	Montou	-6,7	-1,0	-0,4	10,0	0,4	0,0
Adulte C	Montou	-19,0	-5,3	-0,4	7,9	0,9	0,2
Adulte D	Montou	-18,1	-4,2	-0,6	-7,4	0,6	0,1
Enfant 1	Montou	-14,0	-2,5	-0,5	54,1	0,9	1,1
Chien 1	Montou	-22,3	-6,7	-0,3	15,7	0,4	-0,6
Chien 3	Montou	1,1	1,2	-0,3	39,5	0,7	0,2
Chien 4	Montou	-1,3	0,4	-0,2	28,1	0,4	-0,1
Capriné 1	Montou	-9,3	-2,4	-0,2	63,0	0,0	-0,5
Capriné 2	Montou	0,9	1,3	-0,2	34,3	0,3	-0,1
Capriné 3	Montou	-20,7	-6,0	-0,3	-2,3	1,2	-0,4
Capriné 5	Montou	-12,2	-3,1	-0,3	9,2	-0,1	-0,5
Mouton 6	Montou	-0,2	0,9	-0,2	56,2	0,2	0,0
Capriné 7	Montou	-12,8	-3,4	-0,3	-38,7	0,0	-0,7
Boviné 1	Montou	-7,8	-1,6	-0,3	-0,1	0,1	-0,1
Boviné 2	Montou	-19,5	-6,0	-0,1	3,7	1,3	0,1
Boviné 3	Montou	2,1	1,7	-0,4	99,0	0,0	-1,4
Boviné 4	Montou	10,3	4,3	-0,3	73,4	0,5	-0,3
Boviné 5	Montou	-4,1	-0,4	-0,3	78,4	0,0	-0,2
Suiné 1	Montou	16,9	6,9	-0,4	10,9	0,4	-1,2
Suiné 2	Montou	10,9	4,6	-0,2	35,0	0,0	-1,2
Suiné 3	Montou	6,2	3,9	-0,5	33,9	0,6	-0,4
Suiné 4	Montou	-5,7	-1,3	-0,1	59,2	0,4	-0,5
Suiné 5	Montou	9,8	4,9	-0,4	3,5	0,7	-0,6
Lapin 1	Montou	-25,2	-8,1	-0,2	91,3	0,7	-0,5
SEP 1	Le Crès	-1,1	0,7	-0,3	29,7	0,2	-0,2
SEP 2	Le Crès	-6,9	-1,6	-0,2	20,3	0,4	-0,2
SEP 3-A	Le Crès	-8,0	-2,0	-0,2	9,1	0,3	-0,5
SEP 5-B	Le Crès	3,5	2,1	-0,3	30,4	-0,2	-1,4
SEP 6	Le Crès	-5,0	-0,4	-0,3	43,8	0,1	-0,4
SEP 7-A	Le Crès	-9,9	-1,9	-0,4	35,3	0,7	-1,0
SEP 7-B	Le Crès	-3,9	1,4	-0,7	26,9	1,2	-1,6
SEP 8-A	Le Crès	-11,7	-2,0	-0,6	20,1	1,1	0,0
SEP 8-B	Le Crès	3,9	3,2	-0,5	45,5	0,7	-0,1
SEP 8-C	Le Crès	-7,1	-1,2	-0,3	108,9	0,5	0,0
SEP 8-D	Le Crès	8,4	4,5	-0,5	120,5	1,1	-1,9
SEP 9	Le Crès	-7,5	-0,4	-0,5	7,5	1,2	-0,4
SEP 10-A	Le Crès	-14,2	-0,2	-1,2	30,0	1,1	-3,7
SEP 10-B	Le Crès	6,9	3,6	-0,3	41,5	0,1	-1,2
SEP 11-B	Le Crès	-7,8	-1,4	-0,3	15,9	0,3	-1,5
SEP 12-A	Le Crès	-4,7	-0,3	-0,3	70,5	0,3	-0,2
SEP 12-B	Le Crès	-3,7	-0,2	-0,3	8,3	0,3	-0,8
SEP 13	Le Crès	-8,4	-0,5	-0,6	19,4	0,7	-0,3
SEP 14	Le Crès	-14,3	-1,1	-1,0	9,1	1,7	0,1
SEP 15	Le Crès	1,7	1,7	-0,3	40,1	0,1	-0,7
SEP 16	Le Crès	-1,2	2,0	-0,6	26,6	0,8	-1,6
SEP 20-A	Le Crès	-5,3	-0,9	-0,2	18,6	0,4	-2,4
SEP 20-B	Le Crès	-10,7	-2,7	-0,3	10,6	0,4	-0,6
SEP 20-C	Le Crès	-8,5	-2,1	-0,2	12,8	0,0	-0,2
SEP 20-D	Le Crès	-4,0	-0,1	-0,3	25,1	0,2	0,6
SEP 20-E	Le Crès	-9,7	-2,3	-0,2	78,3	0,7	0,1
SEP 21	Le Crès	-8,7	-2,0	-0,2	119,5	0,4	0,0
SEP 22	Le Crès	-5,4	0,5	-0,6	13,1	1,1	-0,8
SEP 23	Le Crès	-5,2	-0,1	-0,5	32,4	0,7	-1,4
SEP 26	Le Crès	-2,7	-0,6	-0,1	24,3	0,7	3,0
SEP 28	Le Crès	-11,4	-0,5	-0,9	80,0	1,5	-1,3
SEP 29	Le Crès	-7,4	-1,5	-0,2	53,5	0,5	0,1

Annexes

Echantillons	Sites	%C		%N	C/N	Rendement	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
		Bx-Lp	Bx-Lp	Bx-Lp	Bx-Lp	Bx-Lp (mg/g)	Bx-Lp (‰)	Bx-Lp (‰)
SEP 30	Le Crès	-11,2	-0,3	-0,9		62,2	1,4	-2,0
SEP 32	Le Crès	-9,1	-0,1	-0,8		61,0	1,2	-0,8
SEP 33	Le Crès	-12,4	-0,4	-0,5		33,5	1,1	-0,7
SEP 34	Le Crès	-39,8	-13,4	1,1		69,7	0,2	0,5
SEP 35	Le Crès	-2,3	0,0	-0,2		37,3	0,2	0,1
LC Bovin 73	Le Crès	-11,9	-3,4	-0,2		28,6	0,1	0,6
LC Bovin 79	Le Crès	-14,8	-4,5	-0,2		42,3	0,1	0,0
LC Bovin 123	Le Crès	2,0	1,7	-0,2		43,5	0,7	0,1
LC Bovin 131	Le Crès	-8,7	-2,1	-0,3		12,9	1,1	0,6
LC Bovin 169	Le Crès	0,4	1,0	-0,5		5,1	0,2	0,8
LC capriné 6	Le Crès	-1,9	-0,8	0,0		26,1	-0,3	-0,2
LC capriné 42	Le Crès	-8,1	-2,0	-0,2		30,7	-0,1	0,2
LC mouton 123	Le Crès	7,7	3,4	-0,5		6,0	0,0	2,0
LC capriné 131	Le Crès	-9,2	-2,5	-0,2		22,4	0,4	0,4
LC capriné 169	Le Crès	-17,8	-5,7	-0,2		4,0	0,1	0,5
LC chien A	Le Crès	-8,2	-2,2	-0,2		37,3	0,1	-0,8
LC chien B	Le Crès	7,5	4,0	-0,4		36,8	0,5	0,1
LC chien 7	Le Crès	-23,5	-6,4	-0,6		7,8	0,0	-0,8
LC chien 73	Le Crès	-5,9	-1,5	-0,1		38,7	0,2	-0,1
LC chien 79	Le Crès	-12,0	-3,1	-0,3		26,4	0,1	-0,4
LC chevreuil 73	Le Crès	-12,3	-3,6	-0,2		31,9	0,2	0,1
T1-Beaufort	Coste Rouge	-3,0	-0,1	-0,3		32,7	0,3	-0,6
Echantillons valides Moyenne valeurs absolues (n = 69)		35,1	12,8	3,2		60,4	0,4	0,5
Ecart-type valeurs absolues (n = 69)		4,3	1,7	0,1		36,6	0,4	0,6
Min. valeurs absolues(n = 69)		0,9	0,0	0,0		11,1	0,0	0,0
Max. valeurs absolues(n = 69)		22,3	6,7	0,6		171,8	2,6	3,0

Annexe 12. Vérification de la normalité : test de Shapiro Wilk entre les résultats des laboratoires pour chaque variable.

Variables	W de Shapiro Wilk	P associé
Bons binômes (n=15)		
$\Delta\%C$ collagène Bx-IsoA	0,71	0,00
$\Delta\%N$ collagène Bx-IsoA	0,66	0,00
$\Delta\%C/N$ collagène Bx-IsoA	0,60	0,00
$\Delta\%$ Rendement collagène Bx-IsoA	0,91	0,10
Mauvais binômes (n=85)		
$\Delta\%C$ collagène Bx-IsoA	0,95	0,03
$\Delta\%N$ collagène Bx-IsoA	0,93	0,00
$\Delta\%C/N$ collagène Bx-IsoA	0,89	0,00
$\Delta\%$ Rendement collagène Bx-IsoA	0,91	0,00

Annexe 13. Résultats du test U Mann-Whitney de comparaison entre les échantillons correctement dupliqués (B) et les mauvais duplicats (M).

Variables : différences en valeurs absolues	SommeRgs B	SommeRgs M	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif B	N Actif M	2*(1-p) p exact
Echantillons valides et non valides										
$\Delta\%C$ (valeur abs)	709,00	4341,00	589,00	-0,47	0,64	-0,47	0,64	15	85	0,65
$\Delta\%N$ (valeur abs)	670,00	4380,00	550,00	-0,84	0,40	-0,84	0,40	15	85	0,40
$\Delta\%C/N$ (valeur abs)	563,50	4486,50	443,50	-1,87	0,06	-1,87	0,06	15	85	0,06
$\Delta\%$ Rdt (valeur abs)	754,00	4296,00	634,00	-0,03	0,97	-0,03	0,97	15	85	0,98
Echantillons valides uniquement										
$\Delta\%C$ (valeur abs)	392,50	1560,50	234,50	0,85	0,40	0,85	0,40	11	51	0,40
$\Delta\%N$ (valeur abs)	370,00	1583,00	257,00	0,43	0,67	0,43	0,66	11	51	0,68
$\Delta\%C/N$ (valeur abs)	251,00	1702,00	185,00	-1,76	0,08	-1,76	0,08	11	51	0,08
$\Delta\%$ Rdt (valeur abs)	340,50	1612,50	274,50	-0,11	0,91	-0,11	0,91	11	51	0,91

Annexe 14. Corrélations entre l'écart des valeurs isotopiques et l'écart des valeurs de C/N entre les deux laboratoires.

Variables : différences en valeurs absolues	Moyenne	Ec-Type	r(X,Y)	r ²	t	p	N	Constnte dép : Y	Pente dép : Y	Constnte dép : X	Pente dép : X
Ensemble des échantillons											
$\Delta \delta^{15}\text{C}$ (valeur abs)	0,50	0,45									
$\Delta \% \text{C/N}$ (valeur abs)	0,36	0,22	0,45	0,21	5,07	0,00	101	0,25	0,22	0,17	0,94
$\Delta \delta^{15}\text{N}$ (valeur abs)	0,68	0,65									
$\Delta \% \text{C/N}$ (valeur abs)	0,36	0,22	0,31	0,10	3,22	0,00	101	0,29	0,10	0,35	0,93
Echantillons valides uniquement											
$\Delta \delta^{15}\text{C}$ (valeur abs)	0,40	0,29									
$\Delta \% \text{C/N}$ (valeur abs)	0,28	0,12	0,59	0,34	5,60	0,00	62	0,18	0,25	0,02	1,36
$\Delta \delta^{15}\text{N}$ (valeur abs)	0,55	0,58									
$\Delta \% \text{C/N}$ (valeur abs)	0,28	0,12	-0,12	0,01	-0,95	0,35	62	0,29	-0,03	0,71	-0,57
Echantillons non valides uniquement											
$\Delta \delta^{15}\text{C}$ (valeur abs)	0,66	0,60									
$\Delta \% \text{C/N}$ (valeur abs)	0,48	0,27	0,31	0,10	1,97	0,06	39	0,38	0,14	0,34	0,67
$\Delta \delta^{15}\text{N}$ (valeur abs)	0,88	0,72									
$\Delta \% \text{C/N}$ (valeur abs)	0,48	0,27	0,45	0,20	3,05	0,00	39	0,33	0,17	0,31	1,18
Bons binômes											
$\Delta \delta^{15}\text{C}$ (valeur abs)	0,12	0,08									
$\Delta \% \text{C/N}$ (valeur abs)	0,25	0,07	-0,56	0,31	-2,42	0,03	15	0,32	-0,54	0,26	-0,58
$\Delta \delta^{15}\text{N}$ (valeur abs)	0,24	0,15									
$\Delta \% \text{C/N}$ (valeur abs)	0,25	0,07	0,40	0,16	1,56	0,14	15	0,21	0,19	0,02	0,84
Mauvais binômes											
$\Delta \delta^{15}\text{C}$ (valeur abs)	0,56	0,45									
$\Delta \% \text{C/N}$ (valeur abs)	0,37	0,23	0,42	0,18	4,25	0,00	85	0,25	0,21	0,25	0,84
$\Delta \delta^{15}\text{N}$ (valeur abs)	0,75	0,68									
$\Delta \% \text{C/N}$ (valeur abs)	0,37	0,23	0,26	0,07	2,50	0,01	85	0,30	0,09	0,46	0,79

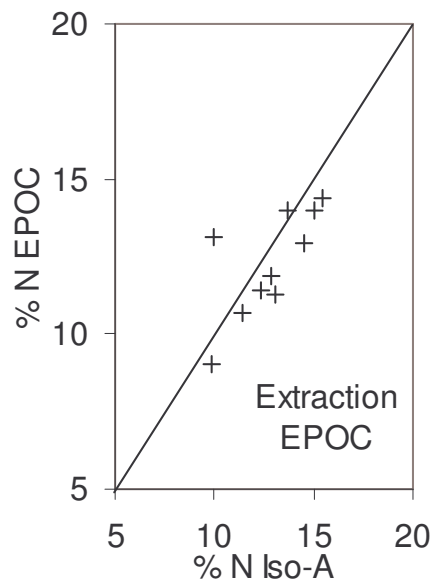
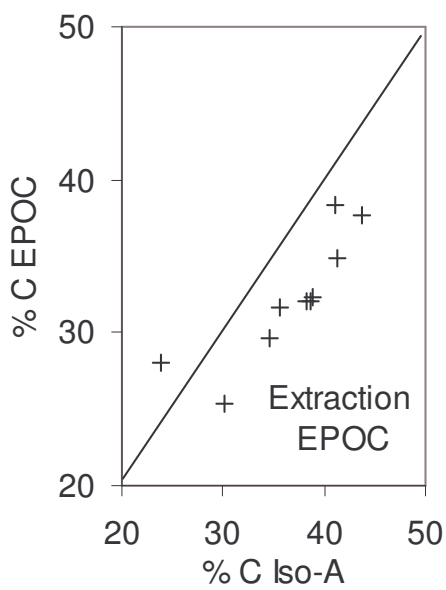
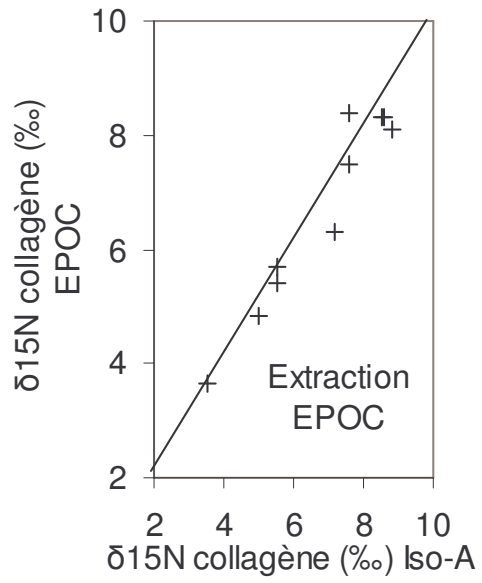
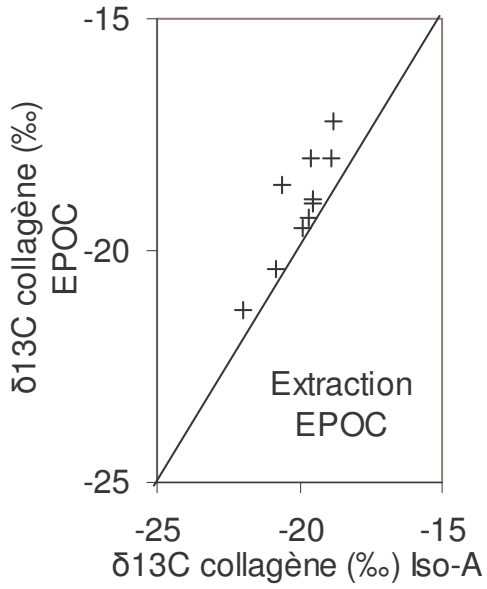
Annexe 15. Résultats des analyses effectuées sur une sélection d'échantillon dont le collagène fut extrait dans deux laboratoires et chaque collagène analysé par deux spectromètres de masse isotopique différents, au laboratoire EPOC et au laboratoire Iso-Analytical. Les échantillons en italiques sont ceux pour lesquels les réplicats d'analyses (collagène extrait et analysé à Bordeaux comparé au collagène extrait à Leipzig et analysé chez iso-Analytical) sont corrects.

Sites	Echantillons	Analyses effectuées au laboratoire EPOC				Analyses effectuées au laboratoire Iso-Analytical			
		%C	%N	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	%C IsoA	%N IsoA	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
Collagène extrait au laboratoire EPOC									
<i>Montou</i>	<i>Adulte B</i>	34,9	12,9	-19,0	8,1	41,2	14,5	-19,5	8,8
<i>Montou</i>	<i>Chien 4</i>	32,0	11,4	-18,9	8,3	38,7	12,3	-19,5	8,6
Les Plots	Cerf	29,7	10,7	-20,4	5,4	34,6	11,4	-20,8	5,5
Les Plots	Suiné 4	32,0	11,3	-19,5	5,7	38,3	13,1	-19,9	5,5
<i>Montou</i>	<i>Mouton 6</i>	38,3	14,0	-18,0	7,5	41,1	13,7	-18,9	7,6
Les Plots	Homme St 1	25,3	9,0	-17,2	8,3	30,2	9,9	-18,8	8,5
Pendimoun	Cerf 1	32,4	11,9	-21,3	3,7	38,9	12,9	-22	3,5
Pendimoun	Bœuf21192	37,7	14,4	-19,3	4,8	43,7	15,4	-19,7	5
Le Crès	Sep 14	28,1	13,1	-18,0	8,4	23,8	10	-19,6	7,6
Le Crès	Sep 30	31,6	14,0	-18,6	6,3	35,7	15	-20,6	7,2
Collagène extrait au laboratoire de l'Institut Max-Planck									
<i>Montou</i>	<i>Adulte B</i>	41,9	14,4	-19,6	9,2	41,6	13,9	-19,4	8,1
<i>Montou</i>	<i>Chien 4</i>	-	-	-	-	33,3	11,0	-19,3	8,4
Les Plots	Cerf	43,3	15,0	-20,6	5,7	44,9	15,0	-20,7	4,8
Les Plots	Suiné 4	43,4	14,9	-19,3	5,7	43,5	14,4	-19,7	5,0
<i>Montou</i>	<i>Mouton 6</i>	36,1	12,8	-18,5	7,8	38,5	13,1	-18,2	7,5
Les Plots	Homme St 1	44,6	15,3	-19,7	9,4	44,2	14,6	-19,8	8,1
Pendimoun	Cerf 1	43,6	15,3	-21,0	3,7	42,4	14,2	-21,8	2,6
Pendimoun	Bœuf21192	45,1	16,0	-19,0	5,2	45,4	15,4	-19,8	5,0
Le Crès	Sep 14	41,1	14,4	-19,1	9,2	42,4	14,2	-19,7	8,3
Le Crès	Sep 30	40,3	13,9	-18,5	8,4	42,8	14,3	-20,0	8,3

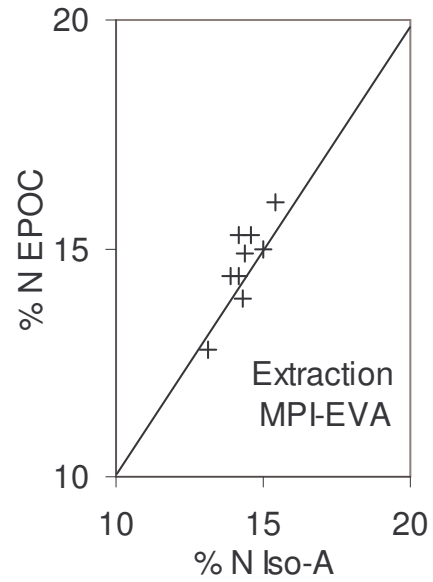
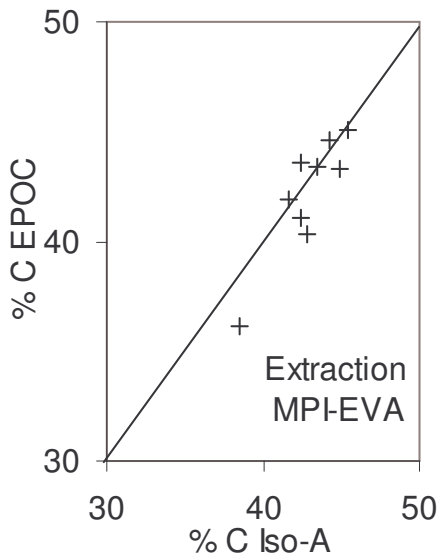
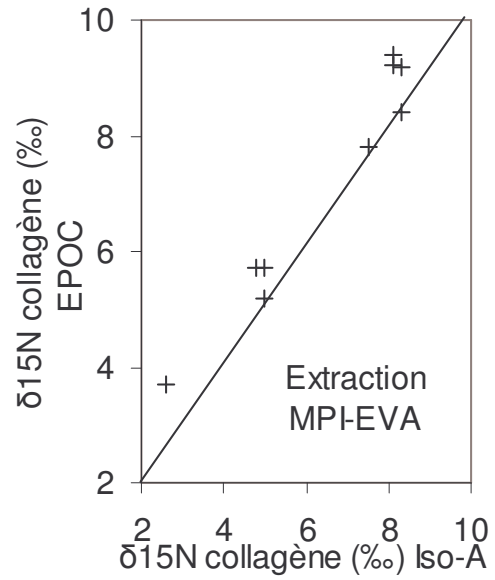
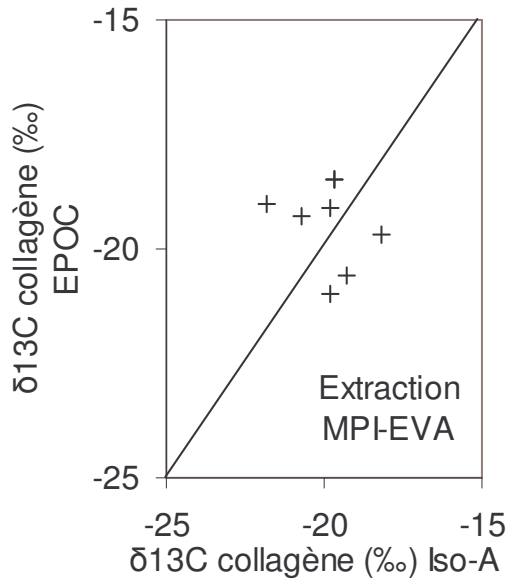
Annexe 16. Corrélations entre les différences (en valeurs absolues) de valeurs isotopiques obtenues entre les spectromètres et les différences de % C, % N et le rendement d'extraction sur le collagène extrait à Bordeaux et celui extrait à Leipzig.

	Moyenne	Ec-Type	r(X,Y)	r ²	t	p	N	Constnte dép : Y	Pente dép : Y	Constnte dép : X	Pente dép : X
Collagène extrait au laboratoire EPOC											
Δ spectro δ ¹³ C (valeur abs)	0,56	0,19									
%C	33,85	3,21	0,40	0,16	0,98	0,37	7,00	30,12	6,70	-0,25	0,02
Δ spectro δ ¹³ C (valeur abs)	0,56	0,19									
%N	12,37	1,41	0,32	0,10	0,75	0,49	7,00	11,06	2,35	0,02	0,04
Δ spectro δ ¹³ C (valeur abs)	0,56	0,19									
C/N	3,17	0,11	0,10	0,01	0,23	0,83	7,00	3,14	0,06	-0,01	0,18
Δ spectro δ ¹³ C (valeur abs)	0,56	0,19									
RDT	87,30	43,22	0,38	0,15	0,93	0,40	7,00	39,34	86,31	0,41	0,00
Δ spectro δ ¹⁵ N(valeur abs)	0,25	0,21									
%C	33,85	3,21	0,06	0,00	0,14	0,89	7,00	33,61	0,96	0,11	0,00
Δ spectro δ ¹⁵ N(valeur abs)	0,25	0,21									
%N	12,37	1,41	0,07	0,01	0,17	0,87	7,00	12,24	0,50	0,11	0,01
Δ spectro δ ¹⁵ N(valeur abs)	0,25	0,21									
C/N	3,17	0,11	-0,15	0,02	-0,33	0,75	7,00	3,19	-0,08	1,13	-0,28
Δ spectro δ ¹⁵ N(valeur abs)	0,25	0,21									
RDT	87,30	43,22	-0,57	0,32	-1,54	0,18	7,00	115,98	-116,05	0,49	0,00
Collagène extrait au laboratoire Iso-Analytical											
Δ spectro δ ¹³ C (valeur abs)	0,53	0,45									
%C	42,86	2,06	0,05	0,00	0,13	0,90	9,00	42,74	0,22	0,09	0,01
Δ spectro δ ¹³ C (valeur abs)	0,53	0,45									
%N	14,34	0,65	0,10	0,01	0,26	0,81	9,00	14,27	0,14	-0,42	0,07
Δ spectro δ ¹³ C (valeur abs)	0,53	0,45									
C/N	3,47	0,03	-0,19	0,04	-0,52	0,62	9,00	3,47	-0,01	9,62	-2,62
Δ spectro δ ¹³ C (valeur abs)	0,73	0,44									
RDT	33,13	21,83	-0,31	0,10	-0,87	0,41	9,00	44,64	-15,67	0,94	-0,01
Δ spectro δ ¹⁵ N(valeur abs)	0,73	0,44									
%C	42,86	2,06	0,13	0,02	0,35	0,74	9,00	42,41	0,61	-0,44	0,03
Δ spectro δ ¹⁵ N(valeur abs)	0,73	0,44									
%N	14,34	0,65	0,01	0,00	0,01	0,99	9,00	14,34	0,01	0,68	0,00
Δ spectro δ ¹⁵ N(valeur abs)	0,73	0,44									
C/N	3,47	0,03	0,61	0,38	2,06	0,08	9,00	3,43	0,05	-26,95	7,99
Δ spectro δ ¹⁵ N(valeur abs)	0,53	0,45									
RDT	33,13	21,83	-0,04	0,00	-0,10	0,93	9,00	34,07	-1,76	0,56	0,00

Annexe 17. Comparaison des valeurs isotopiques et des teneurs en C et en N du collagène selon les deux méthodes d'extraction.



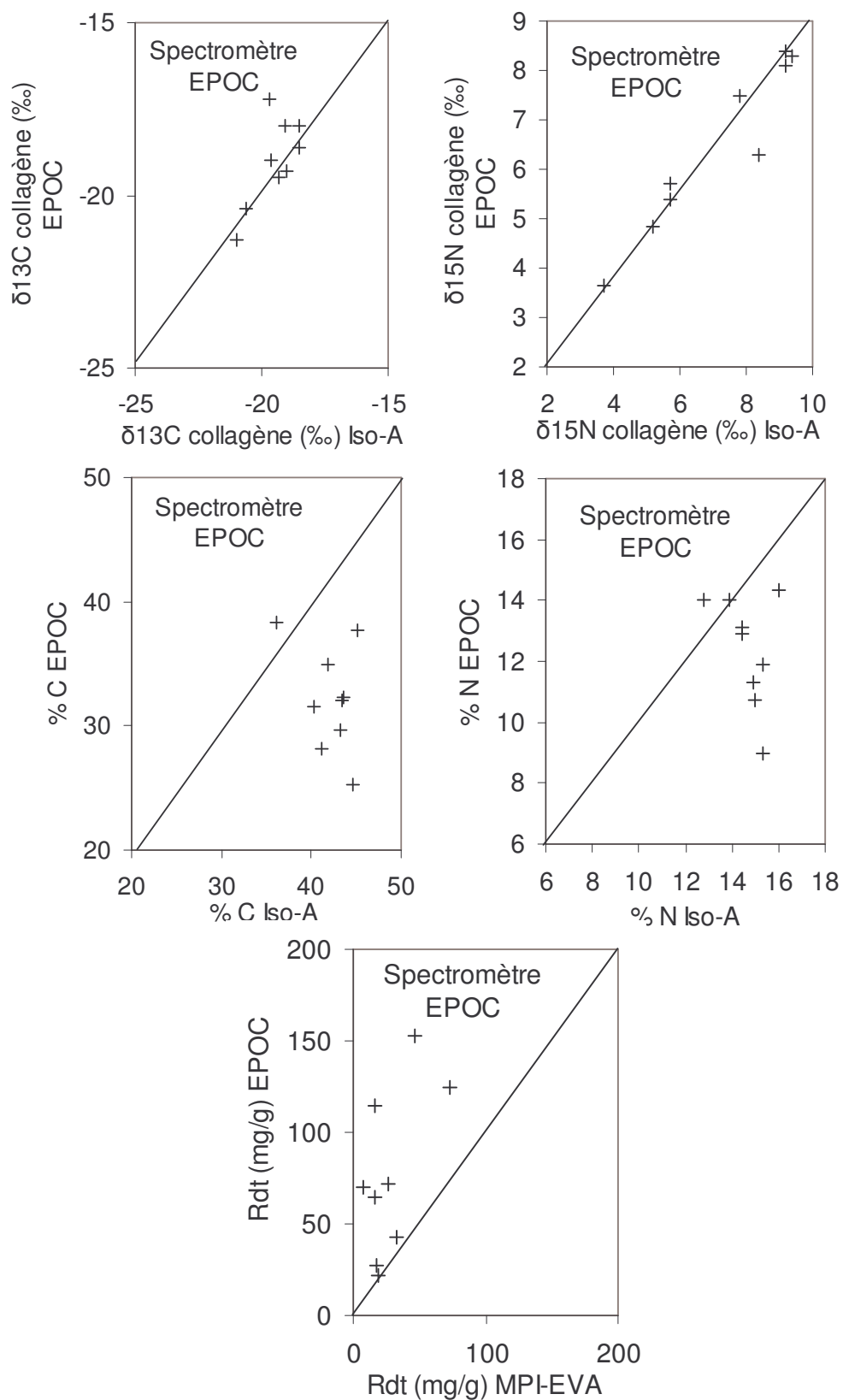
Suite de l'annexe 17.



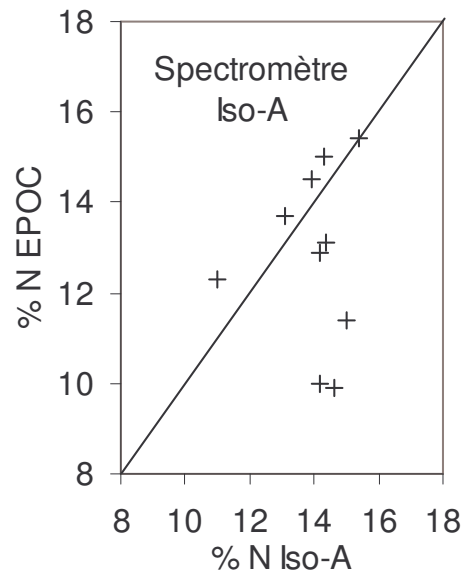
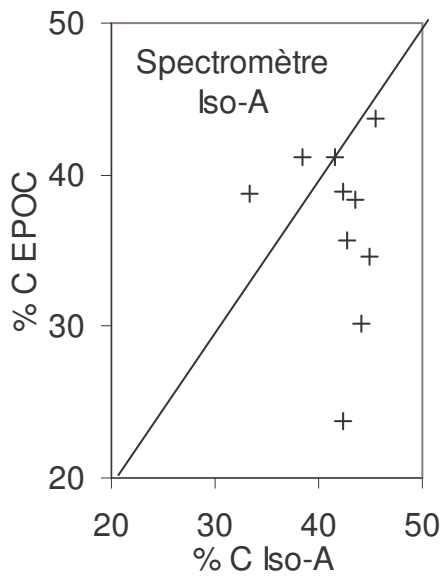
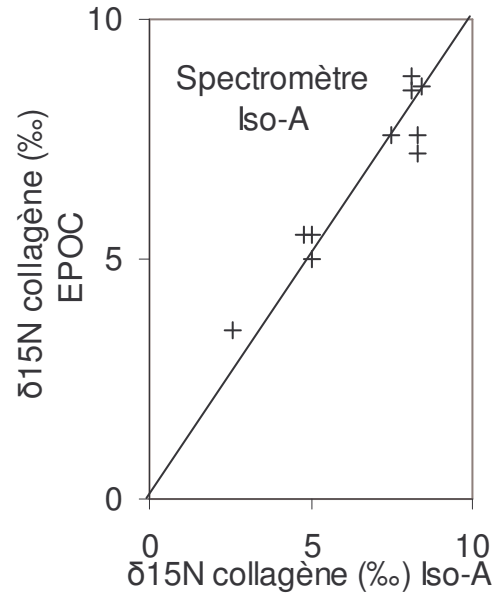
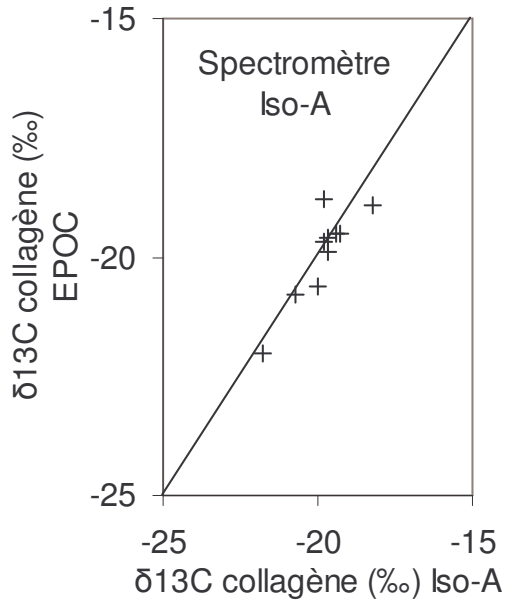
Annexe 18. Corrélations entre les différences (en valeurs absolues) de valeurs isotopiques obtenues, par chaque spectromètre, entre les méthodes d'extraction, et les différences de % C, % N et le rendement d'extraction.

	Moyenne	Ec-Type	r(X,Y)	r ²	t	p	N	Constnte dép : Y	Pente dép : Y	Constnte dép : X	Pente dép : X
Spectromètre EPOC											
Δ extraction δ ¹³ C (valeur abs)	0,35	0,16									
Δ extraction % C (valeur abs)	8,81	4,11	-0,78	0,61	-2,48	0,07	6,00	15,68	-19,52	0,62	-0,03
Δ extraction δ ¹⁵ C (valeur abs)	0,35	0,16									
Δ extraction % N (valeur abs)	2,61	1,31	-0,83	0,69	-2,97	0,04	6,00	4,95	-6,65	0,62	-0,10
Δ extraction δ ¹⁵ C (valeur abs)	0,35	0,16									
Δ extraction C/N (valeur abs)	0,18	0,10	0,37	0,13	0,79	0,48	6,00	0,10	0,21	0,24	0,62
Δ extraction δ ¹⁵ C (valeur abs)	0,35	0,16									
Δ extraction RDT (valeur abs)	52,62	30,66	-0,43	0,19	-0,96	0,39	6,00	81,01	-80,75	0,47	0,00
Δ extraction δ ¹⁵ N (valeur abs)	0,35	0,40									
Δ extraction % C (valeur abs)	8,81	4,11	-0,36	0,13	-0,78	0,48	6,00	10,14	-3,76	0,66	-0,04
Δ extraction δ ¹⁵ N (valeur abs)	0,35	0,40									
Δ extraction % N (valeur abs)	2,61	1,31	-0,56	0,31	-1,35	0,25	6,00	3,26	-1,85	0,79	-0,17
Δ extraction δ ¹⁵ N (valeur abs)	0,35	0,40									
Δ extraction C/N (valeur abs)	0,18	0,10	0,66	0,44	1,77	0,15	6,00	0,12	0,16	-0,14	2,74
Δ extraction δ ¹⁵ N (valeur abs)	0,35	0,40									
Δ extraction RDT (valeur abs)	52,62	30,66	-0,75	0,56	-2,26	0,09	6,00	72,97	-57,89	0,86	-0,01
Spectromètre Iso-Analytical											
Δ extraction δ ¹³ C (valeur abs)	0,23	0,21									
Δ extraction % C (valeur abs)	4,16	3,25	-0,19	0,03	-0,42	0,69	7,00	4,80	-2,81	0,28	-0,01
Δ extraction δ ¹⁵ C (valeur abs)	0,23	0,21									
Δ extraction % N (valeur abs)	1,24	1,15	-0,25	0,06	-0,58	0,59	7,00	1,55	-1,34	0,29	-0,05
Δ extraction δ ¹⁵ C (valeur abs)	0,23	0,21									
Δ extraction C/N (valeur abs)	0,10	0,05	-0,30	0,09	-0,71	0,51	7,00	0,12	-0,07	0,36	-1,26
Δ extraction δ ¹⁵ C (valeur abs)	0,23	0,21									
Δ extraction RDT (valeur abs)	49,11	29,48	0,19	0,04	0,44	0,68	7,00	43,00	26,75	0,16	0,00
Δ extraction δ ¹⁵ N (valeur abs)	0,44	0,35									
Δ extraction % C (valeur abs)	4,16	3,25	0,25	0,06	0,58	0,59	7,00	3,11	2,36	0,33	0,03
Δ extraction δ ¹⁵ N (valeur abs)	0,44	0,35									
Δ extraction % N (valeur abs)	1,24	1,15	0,51	0,26	1,34	0,24	7,00	0,49	1,71	0,25	0,15
Δ extraction δ ¹⁵ N (valeur abs)	0,44	0,35									
Δ extraction C/N (valeur abs)	0,10	0,05	-0,33	0,11	-0,77	0,48	7,00	0,12	-0,05	0,66	-2,18
Δ extraction δ ¹⁵ N (valeur abs)	0,44	0,35									
Δ extraction RDT (valeur abs)	49,11	29,48	0,27	0,08	0,64	0,55	7,00	38,74	23,42	0,28	0,00

Annexe 19. Comparaison des valeurs isotopiques et des teneurs en C et en N du collagène selon les deux équipements analytiques.



Suite de l'annexe 19.



Annexes des chapitres III et IV

Annexe 20. L'estimation des critères biologiques est effectuée selon les différents anthropologues en charge des sites, excepté pour les classes d'âge des individus des Plots, du Crès et du Rastel. Pathologies, anomalies osseuses : 1 : arthrose, ostéophyte ; 2 : pathologie traumatique ; 3 : pathologie infectieuse ; 4 : *cribra* et lignes de Harris ; 5 : autre (*coxa valga* notamment). Pathologies, anomalies dentaires : 1 : tartre ; 2 : carie ; 3 : usure dentaire prononcée ; 4 : parodontose, perte dentaire *ante mortem* ; 5 : hypoplasie. Position du défunt : C : sur le côté ; E : en extension ; D : droit ; G : gauche ; D : sur le dos ; V : sur le ventre. Type de sépulture : FS : fosse sépulcrale simple ; PDPP(B) : fosse à petit diamètre peu profonde (avec bloc de parement) ; FSO(B) : fosse à ouverture oblongue (avec bloc de parement) ; GDP(P)(N)(B) : fosse à grand diamètre (peu) profonde (avec niche ou bloc de parement) ; SR : fosse de stockage. Ces données sont préliminaires et pourront être complétées ultérieurement.

Échantillons	Sites	Sexe	Age Estimé (année)	Classe d'âge (année)	Stature Estimée (cm)	Pathologies, anomalies osseuses	Pathologies, anomalies dentaires	Position du défunt	Type de sépulture
Sepulture 1 F1	Pendimoun	Femme	45,2 ± 12,6	20-49	161,5	1, 2, 5	1, 3	CG	Fosse
Sepulture 2 F2	Pendimoun	Femme	34,7 ± 7,8	20-49	152,5	2	-	CG	Fosse
Castellar néo récent	Pendimoun	Indéterminé	-	-	-	-	-	-	-
Castellar H1	Pendimoun	Homme	56,2 ± 12,6	> 40	174,5	5	3, 4	CG	Fosse
Castellar H2	Pendimoun	Homme	-	-	-	-	-	-	Fosse
F 36 homme	Les Plots	Homme	Adulte	20-39	-	-	-	CD	SR
F 37 femme	Les Plots	Femme	Adulte	-	-	-	3	CD	SR
F 49 homme	Les Plots	Homme	Adulte	-	-	-	3	ED	SR
St 1 homme	Les Plots	Homme	Adulte	20-49	-	-	-	CG	SR
Adulte A	Montou	Indéterminé	Adulte	-	-	-	-	-	Collective
Adulte B	Montou	Indéterminé	Adulte	-	-	-	-	-	Collective
Adulte C	Montou	Indéterminé	Adulte	-	-	-	-	-	Collective
Adulte D	Montou	Indéterminé	Adulte	-	-	-	-	-	Collective
Adulte E	Montou	Indéterminé	Adulte	-	-	-	-	-	Collective
Enfant 1	Montou	-	7	5-9	-	-	-	-	Collective
Enfant 2	Montou	-	4	0-4 ou 5-9	-	-	-	-	Collective
Enfant 3	Montou	-	1	0-4	-	-	-	-	Collective
SEP 1	Le Crès	Homme ?	Adulte	20-39	147,6	1	-	CG	FS
SEP 2	Le Crès	Femme	Adulte	-	155,4	1	-	CG	GDPP
SEP 3-A	Le Crès	Indéterminé	Adulte	-	150,4	-	3, 4	-	SR
SEP 5-A	Le Crès	Femme ?	Adulte	20-49	-	-	-	ED	SR
SEP 5-B	Le Crès	Femme	Adulte	20-49	144,3	1	-	EV	SR
SEP 5-C	Le Crès	Femme ?	Adulte	-	154,4	-	-	ED	SR
SEP 5-d	Le Crès	-	-	-	-	-	-	ED	SR
SEP 6	Le Crès	Indéterminé	Adulte	-	-	-	-	-	FS
SEP 7-A	Le Crès	-	10 ± 2,5	5-9 ou 10-14	-	-	-	EV	PDPP
SEP 7-B	Le Crès	Indéterminé	14 ± 1	10-14 ou 15-19	-	-	-	ED	PDPP
SEP 8-A	Le Crès	Femme ?	Adulte	-	-	-	-	CG	GDP
SEP 8-B	Le Crès	-	5 ± 1,3	0-4 ou 5-9	-	-	-	-	GDP
SEP 8-C	Le Crès	Indéterminé	6 ± 2	5-9	-	-	-	-	GDP
SEP 8-D	Le Crès	-	9 ± 2	5-9 ou 10-14	-	-	-	-	GDP
SEP 9	Le Crès	Homme ?	Adulte	-	151,3	5	3, 4	EV	GDPP
SEP 10-A	Le Crès	-	14 ± 1	10-14 ou 15-19	-	-	-	CD	PDPP
SEP 10-B	Le Crès	Homme ?	Adulte	20-49	156,0	1	4	ED ?	PDPP
SEP 11-A	Le Crès	-	4 ± 1	0-4 ou 5-9	-	-	-	EV	PDPP
SEP 11-B	Le Crès	Femme ?	Adulte	-	157,0	-	3	CD	PDPP
SEP 12-A	Le Crès	Homme	Adulte	-	163,3	5	-	ED	SR
SEP 12-B	Le Crès	-	5,5 ± 2	0-4 ou 5-9	-	-	-	ED	SR
SEP 13	Le Crès	Femme ?	Adulte	> 30	150,0	-	-	EV	GDPP
SEP 14	Le Crès	Indéterminé	Adulte	-	-	-	-	ED	PDPP
SEP 15	Le Crès	Indéterminé	Adulte	-	-	5	3	CG	FS
SEP 16	Le Crès	Homme	Adulte	-	-	-	-	EV	FSO
SEP 19	Le Crès	-	6 ± 2	5-9	-	-	-	-	FSO
SEP 20-A	Le Crès	-	8 ± 2	5-9	-	-	-	ED	SR
SEP 20-B	Le Crès	-	8,5 ± 2	5-9	-	-	-	ED	SR
SEP 20-C	Le Crès	-	5 ± 1	0-4 ou 5-9	-	-	-	CG	SR
SEP 20-D	Le Crès	-	9 ± 2	5-9 ou 10-14	-	-	-	ED	SR
SEP 20-E	Le Crès	-	8 ± 2	5-9	-	-	-	-	SR
SEP 21	Le Crès	-	9,5 ± 2,5	5-9 ou 10-14	-	-	-	-	PDPPB
SEP 22	Le Crès	Femme	Adulte	> 40	146,5	5	-	CG	GDPPNB
SEP 23	Le Crès	-	-	-	-	-	-	-	SR
SEP 26	Le Crès	Femme	Adulte	-	142,3	-	-	CG	SR
SEP 27	Le Crès	Indéterminé	Adulte	-	-	-	-	-	FSOB
SEP 28	Le Crès	Indéterminé	Adulte	-	-	-	-	CG	FSO
SEP 29	Le Crès	Homme	Adulte	> 50	159,4	1	-	CG	FSOB
SEP 30	Le Crès	Femme	Adulte	> 50	-	-	-	ED	GDPPN
SEP 31	Le Crès	Homme ?	15 ± 3	10-14 ou 15-19	159,3	5	5	CD	SR
SEP 32	Le Crès	Indéterminé	Adulte	> 60	-	-	-	-	FSOB
SEP 33	Le Crès	-	8,5 ± 1,5	5-9	-	-	-	CG	FSOB
SEP 34	Le Crès	Homme	Adulte	> 30	-	-	-	EV	SR
SEP 35	Le Crès	Homme	Adulte	20-49	156,9	1, 5	-	CG	GDPP
T1-Beaufort	Beaufort	-	6 ± 1	5-9	-	-	-	ED	Tombe à ciste
FH1-1	Fontbrégoua	Indéterminé	-	-	-	-	-	-	Fosse de rejet
FH1-2	Fontbrégoua	Indéterminé	-	-	-	-	-	-	Fosse de rejet
FH1-3	Fontbrégoua	Indéterminé	-	-	-	-	-	-	Fosse de rejet
FH2-9-10	Fontbrégoua	Indéterminé	-	-	-	-	-	-	Fosse de rejet
FH2-11	Fontbrégoua	Indéterminé	-	-	-	-	-	-	Fosse de rejet
FH3-A	Fontbrégoua	Indéterminé	-	-	-	-	-	-	Fosse de rejet
FH3-B	Fontbrégoua	Indéterminé	-	-	-	-	-	-	Fosse de rejet
FH3-C	Fontbrégoua	Indéterminé	-	-	-	-	-	-	Fosse de rejet
FH3-D	Fontbrégoua	Indéterminé	-	-	-	-	-	-	Fosse de rejet
FHS-5	Fontbrégoua	Homme	-	-	-	-	-	-	Fosse de rejet
FHS-6	Fontbrégoua	Homme	-	-	-	-	-	-	Fosse de rejet

Annexes

Échantillons	Sites	Sexe	Age Estimé (ans)	Classe d'âge	Stature Estimée (cm)	Pathologies, anomalies osseuses	Pathologies, anomalies dentaires	Position du défunt	Type de sépulture
FHS-7	Fontbrégoua	Homme	-	-	-	-	-	-	Fosse de rejet
Unang 80 GH-45-10	Unang	Femme	30-35	20-49	155,0	-	3	CD	Cuvette
Unang EF567	Unang	-	14 ± 1	10-14 ou 15-19	-	-	-	CD	Cuvette
Unang J 7 9	Unang	-	10	10-14	-	-	-	-	Cuvette
BB2Ia	Bourbon	Indéterminé	Adulte	-	-	-	-	-	Cuvette
BB2Ib	Bourbon	Indéterminé	Adulte	-	-	-	-	-	Cuvette
BB2Ic	Bourbon	Indéterminé	Adulte	-	-	-	-	-	Cuvette
BB3Ia	Bourbon	Indéterminé	-	-	-	-	-	-	Cuvette
BB3Ib	Bourbon	Indéterminé	Adulte	-	-	-	-	-	Cuvette
BB3Ic	Bourbon	Indéterminé	Adulte	-	-	-	-	-	Cuvette
BB3IId	Bourbon	Indéterminé	Adulte	-	-	-	-	-	Cuvette
Homme du Rastel	Le Rastel,	Homme	35-40	20-49	165,0	2	4	CG	Tombe à ciste
Femme 2	Sicard	Femme	Adulte	-	-	-	-	-	-
Homme 2	Sicard	Homme	Adulte	-	170,0	-	-	-	-
Individu 3	Sicard	Indéterminé	-	-	-	-	-	-	-
Inconnu	Sicard	Indéterminé	-	-	-	-	-	-	-
3BB	Arene Candide	Homme	45	20-49	-	-	-	C	Tombe à ciste
6BB	Arene Candide	Homme	Adulte	-	-	-	-	C	Tombe à ciste
2T	Arene Candide	Homme	40	20-49	160,0	4	1, 2, 4	C	Fosse
2BB	Arene Candide	Indéterminé	Adulte	-	-	-	-	C	Tombe à ciste
9BB	Arene Candide	Femme	Adulte	-	-	-	-	C	Tombe à ciste
1T	Arene Candide	Homme	20	20-49	158,0	-	-	C	Tombe à ciste
4BB	Arene Candide	Femme	20-25	-	-	-	-	C	Tombe à ciste
5BB	Arene Candide	-	15	10-14 ou 15-19	-	3, 4	5	C	Tombe à ciste
3T	Arene Candide	-	8-9	5-9	-	4	5	C	Fosse
7BB	Arene Candide	Femme	Adulte	-	-	-	-	C	Tombe à ciste

Annexes

Echantillons	Candide Sites	% C	% N	C/N	Rdt	δ13C (‰)	δ15N (‰)	% C	% N	C/N	Rdt MPI-	δ13C (‰)	δ15N (‰)	% C MPI-	% N	C/N MPI-	δ13C (‰)	δ15N (‰)
		EPOC	EPOC	EPOC	EPOC(mg/g)	EPOC	EPOC	IsoA	IsoA	IsoA	EVA (mg/g)	IsoA	IsoA	EVA	MPI-EVA	EVA	MPI-EVA	MPI-EVA
3T	Arene Candide	-	-	-	-	-	-	31,8	10,8	3,4	68,9	-20,5	8,5	32,6	12,2	3,1	-20,3	8,2
7BB	Arene Candide	-	-	-	-	-	-	34,4	11,7	3,4	38,6	-20,4	9,6	31,7	11,9	3,1	-20,2	9,3
Suiné 1	Arene Candide	-	-	-	-	-	-	55,2	18,7	3,4	39,3	-20,4	6,0	44,1	16,2	3,2	-20,3	5,8
Suiné 2	Arene Candide	-	-	-	-	-	-	47,0	16,4	3,3	35,7	-21,1	4,6	41,2	15,1	3,2	-21,0	4,8
Suiné 3	Arene Candide	-	-	-	-	-	-	47,7	16,1	3,4	35,0	-21,6	3,8	43,6	16,0	3,2	-21,5	4,0
Boviné 1	Arene Candide	-	-	-	-	-	-	41,1	13,8	3,5	24,1	-20,3	4,5	36,8	13,6	3,2	-20,2	4,6
Boviné 2	Arene Candide	-	-	-	-	-	-	46,4	15,5	3,5	33,8	-19,8	5,1	42,4	15,7	3,2	-19,6	4,9
Mouton 1	Arene Candide	-	-	-	-	-	-	42,5	14,3	3,4	32,1	-20,7	5,6	40,7	15,0	3,2	-20,6	5,6
Mouton 2	Arene Candide	-	-	-	-	-	-	47,6	16,1	3,4	37,9	-20,2	4,4	41,7	15,4	3,2	-20,0	4,4
Capriné 3	Arene Candide	-	-	-	-	-	-	44,0	14,7	3,5	24,2	-21,6	4,0	39,5	14,6	3,2	-21,3	4,0
Capriné 4	Arene Candide	-	-	-	-	-	-	38,7	12,8	3,5	6,3	-20,8	4,4	34,1	12,5	3,2	-20,5	4,3
Capriné 5	Arene Candide	-	-	-	-	-	-	49,7	17,7	3,3	48,8	-20,4	6,8	40,8	15,1	3,2	-20,4	6,8
Chevreuril 1	Arene Candide	-	-	-	-	-	-	39,8	13,8	3,3	14,2	-21,3	3,7	36,4	13,4	3,2	-21,3	3,8
Cerf 2	Arene Candide	-	-	-	-	-	-	43,9	15,2	3,4	8,2	-20,5	5,5	42,2	15,1	3,3	-20,6	5,8
Cerf3	Arene Candide	-	-	-	-	-	-	47,4	16,6	3,3	39,6	-22,4	4,3	-	-	-	-	-

Annexe 22. Données archéologiques et biologiques effectuées par Loison et collaborateurs (2004) sur le site du Crès.

N° Ens. Sépulcral	Aménagement			Fiche signalétique de l'individu						Conditions d'inhumation du corps										
	N° Amt	Type	Fermeture Signalisation	N° Indiv.	Sexe	Âge biologique	Classe d'âge	Stature*	Pathologie Anomalies osseuses	Situation	Ordre de dépôt	Axe vertex-coccyx	Regard vers	Position	Position Ouverte Fermée	Dos contre paroi	Face contre paroi	Axe corps épouse la paroi	Hyper-contraction	Milieu de décomposition
S01	137	FS	indét.	1	M?	>30a.	A	147,62 ±3,95	oui	centre	-	E-O	S ?	latérale G	fermée	indét.	indét.	indét.	non	indét.
S02	109	GDPP	oui	2	F	>25a.	A	155,37 ±3,69	oui	moitié Est	-	SE-NO	O	latérale G	fermée	oui	non	oui	non	colmaté
S03	200	SR	non	3B	indét.	7,5-8 m. lun.	0-1	indét.	indét.	quart N-O	2	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.
S03	200		non	3C	indét.	A	A	indét.	indét.	quart N-O	1	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.
S03	200		non	3A	indét.	âgé	A	150,42 ±3,94	oui	quart S-O	3	SE-NO	indét.	latérale D	fermée	oui	non	oui	non	vide
S04		indét.	indét.	4	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	-	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.
S05	14	SR	non	5A	F?	>25a.	A	151,5 ±4,64	indét.	centre	4	SO-NE	E	décubitus	fermée	non	non	non	oui	vide
S05	14		non	5B	F	>30a.	A	144,25 ±3,69	oui	bord Est	2-3	SE-NO	sol / E	procubitus	ouverte	non	oui	oui	non	vide
S05	14		non	5C	F?	>25a.	A	154,38 ±3,94	oui	bord Sud	2-3	E-O	ciel / O	décubitus	ouverte	non	non	oui	non	vide
S05	14		non	5D	indét.	18-24m. ±6-8m.	1-4	indét.	indét.	centre	1	S-N	O	décubitus	ouverte	non	non	non	non	vide ?
S06	94	FS	non	6	indét.	>30a.	A	indét.	indét.	indét.	-	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.
S07	19	PDPP	non	7A	indét.	10a. ±30m.	10-14	indét.	indét.	bord Sud	2	E-O	sol	procubitus	ouverte	non	non	oui	non	colmaté
S07	19		non	7B	indét.	13-15	10-14	indét.	indét.	centre	1	N-S	E	décubitus	ouverte	non	oui	oui	non	colmaté
S08	112	GDP	non	8A	F?	âgé	A	146,94 ±3,51	oui	centre	4	SE-NO	S-O	latérale G	fermée	non	non	non	non	vide ?
S08	112		non	8B	indét.	5a. ±16m.	1-4	indét.	indét.	indét.	3 ?	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	vide ?
S08	112		non	8C	indét.	6a. ±24m.	5-9	indét.	indét.	bord Ouest	2	NO-SE	N-E	indét.	indét.	non	non	non	indét.	vide ?
S08	112		non	8D	indét.	9a. ±24m.	5-9	indét.	indét.	bord Ouest	1	indét.	E	indét.	ouverte ?	non	non	oui ?	indét.	vide ?
S09	114	GDPP	oui	9	M?	>25a./âgé	A	151,27 ±3,95	oui	bord Est	-	S-N	O	procubitus	fermée	non	non	oui	non	colmaté ?
S10	27	PDPP	non	10A	indét.	13-15	10-14	indét.	indét.	centre	2	E-O	E ?	décubitus	fermée	non	non	non	oui	vide
S10	27		non	10B	M?	>30a.	A	156,013 ±3,94	oui	moitié Est	1	N-S	S / S-O ?	décubitus	ouverte	non	non	non	oui	vide
S11	113	PDPP	non	11A	indét.	4a. ±12m.	1-4	indét.	indét.	3/4 Est	3	SO-NE	S-E ?	procubitus	ouverte	non	non	non	non	vide
S11	113		non	11B	F?	>30a.	A	157,03 ±4,50	oui	3/4 Est	2	SE-NO	N ?	latérale D	fermée	non	oui	non	non	vide
S11	113		non	11C	indét.	6a. ±24m.	5-9	indét.	indét.	3/4 Est	1	S-N	E ?	procubitus	ouverte ?	non	non	non	non	vide
S12	145	SR	non	12B	indét.	5-6a. ±24m.	5-9	indét.	?	moitié Nord	2	O-E	ciel ?	décubitus	ouverte	non	non	non	non	vide
S12	145		non	12A	M	>25a.	A	163,33 ±3,95	oui	moitié Nord	3	NO-SE	N-E	décubitus	ouverte	non	non	non	non	vide ?

Annexes

N° Ens. Sépulcral	N°Amt	Type	Fermeture Signalisation	N°Indiv.	Sexe	Âge biologique	Classe d'âge	Stature*	Pathologie Anomalies osseuses	Situation	Ordre de dépôt	Axe vertex-coceyx	Regard vers	Position	Position Ouverte Fermée	Dos contre paroi	Face contre paroi	Axe corps épouse la paroi	Hyper-contraction	Milieu de décomposition
S12	145		non	12C	indét.	A	A	indét.	indét.	indét.	1 ?	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	vide ?
S13	7	GDPP	oui	13	F?	>25a.	A	149,95 ±3,94	indét.	bord Nord	-	E-O	indét.	procubitus	ouverte ?	non	non	oui	non	vide ?
S14	161	PDPP	indét.	14	indét.	>30a.	A	159,37 ±4	indét.	centre	-	S-N	O	décubitus	fermée	non	non	non	oui	vide
S15	167	FS	indét.	15	indét.	A	A	165,37 ±3,74	oui	indét.	-	S-N	N-O	latérale G	fermée	oui	non	oui	non	colmaté ?
S16	165	FSO ?	indét.	16	M	>25a.	A	156,06 ±4,29	indét.	indét.	-	S-N ?	indét.	procubitus	fermée ?	indét.	indét.	indét.	non	indét.
S18	40	FS	indét.	18	indét.	3a. ±12m.	1-4	indét.	indét.	indét.	-	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.
S19	168	FSO ?	indét.	19	indét.	6a. ±24m.	5-9	indét.	indét.	indét.	-	S-N	O	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.
S20	207	SR	non	20D	indét.	8-10 ±24m.	5-9	indét.	indét.	centre	4	O-E	O	décubitus	fermée	non	non	non	non	colmaté ?
S20	207		non	20E	indét.	8a. ±24m.	5-9	indét.	indét.	centre	3	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.
S20	207		non	20F	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	centre	1-2 ?	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.
S20	207		non	20G	indét.	5-6a. ±24m.	5-9	indét.	indét.	centre	1-2 ?	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.
S20	207		non	20A	indét.	8a. ±24m.	5-9	indét.	indét.	centre	7	SO-NE	N-O	décubitus	ouverte	non	non	non	non	vide ?
S20	207		non	20B	indét.	8-9a. ±24m.	5-9	indét.	indét.	centre	6	E-O	N-E	lat. D/déc.	ouverte	non	non	non	non	vide ?
S20	207		non	20C	indét.	4a. ±12m. - 6a.	5-9	indét.	indét.	centre	5	SE-NO	S-O	latérale G	fermée ?	non	non	non	indét.	vide ?
S21	97	PDPPB	non	21	indét.	9-10a. ±30m.	5-9/10-14	indét.	oui	centre	-	NE-SO	O	décubitus	ouverte	non	non	non	non	vide
S22	86	GDPPNB	oui	22	F	>25a.	A	146,48 ±3,69	oui	bord Est	-	S-N	O	latérale G	fermée	oui	non	oui	non	vide ?
S23	79	SR	non	23	indét.	A?	A?	indét.	indét.	bord Sud	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.
S26	210	SR	non	26	F	>25a.	A	142,29 ±4024	indét.	moitié Est	-	SO-NE	O	latérale G	fermée	oui	non	oui	non	vide
S27	85	FSOB	oui	27	indét.	7a. ±24m.	5-9	indét.	indét.	3/4 Sud	-	S-N ?	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.
S28	166	FSO ?	indét.	28	indét.	A?	A?	indét.	indét.	centre ?	-	indét.	indét.	latérale G ?	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.
S29	88	FSOB	oui	29	M	>30a.	A	159,39 ±3,95	oui	centre	-	SE-NO	O	latérale G	fermée	oui	non	oui	non	vide
S30	179	GDPPN	indét.	30	F	>30a./âgé	A	142,28 ±3,69	oui	centre ?	-	S-N	N-O	décubitus	fermée	non	non	non	non	vide
S31	56	SR ?	non	31	M	15a. ±36m.	15-19	159,27 ±3,94	oui	centre	-	E-O	N-E	latérale D	ouverte	non	non	non	non	vide
S32	180	FSOB	oui	32	indét.	>30a.	A	156,25 ±3,94	indét.	3/4 Est	-	SE-NO	S-O	latérale G	fermée	oui	non	oui	non	vide ?
S33	211	FSOB	oui	33	indét.	7-10a.	5-9	indét.	indét.	moitié N-E	-	E-O	S-O	latérale G	fermée	oui	non	oui	non	vide
S34	87	SR ?	non	34	M	>25a.	A	170,99 ±3,95	oui	moitié Sud	-	O-E	sol	procubitus	fermée	non	oui	non	non	colmaté
S35	46	GDPP	non	35	M	>30a./âgé	A	156,84 ±3,95	oui	bord Nord	-	E-O	S	latérale G	fermée	oui	non	oui	non	colmaté

Suite de l'annexe. Tab. issu de Loison *et al.*, 2004.

N°Indiv.	Taphonomie				Dispositifs de dépôt		
	Enveloppe Contenant	Représentation du squelette	Conservation osseuse	Conservation de l'Amt	Surélévation	Connexion mandibule	Mobilier
1	indét.	moyenne	bonne	arasé	tête	indét.	non
2	oui	bonne	mauvaise	complet	tête /corps?	oui	oui
3B	indét.	?	bonne	complet	indét.	indét.	indét.
3C	indét.	mauvaise	bonne	complet	indét.	indét.	indét.
3A	oui	moyenne	mauvaise	complet	tête	non	oui
4	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.	indét.
5A	oui	moyenne	moyenne	complet	tête	non	oui
5B	oui	moyenne	bonne/mauv.	complet	non	oui	non
5C	oui ?	bonne	moyenne	complet	tête	oui	oui
5D	non	moyenne	mauvaise	complet	corps ?	non	non
6	indét.	mauvaise	moyenne	arasé	indét.	indét.	oui
7A	non	moyenne	mauvaise	3/4	non	oui	non
7B	non	moyenne	mauvaise	3/4	non	oui	non
8A	non	mauvaise	moyenne	complet	non	oui	non
8B	indét.	mauvaise	mauvaise	complet	indét.	oui	non
8C	indét.	mauvaise	mauvaise	complet	tête	oui	non
8D	indét.	mauvaise	mauvaise	complet	indét.	oui	non
9	non	bonne	bonne	complet	non	oui	non
10A	oui	bonne	bonne	complet	tête	oui	non
10B	oui	bonne	bonne	complet	tête	oui	oui
11A	oui	mauvaise	mauvaise	complet	tête	oui	oui
11B	oui	moyenne	moyenne	complet	non	oui	?
11C	oui	moyenne	moyenne	complet	non	oui	?
12B	non	moyenne	bonne	complet	corps ?	non	oui
12A	non	bonne	bonne	complet	non	oui	oui
12C	indét.	mauvaise	bonne	complet	indét.	indét.	?
13	indét.	moyenne	mauvaise	arasé	indét.	indét.	non
14	oui	moyenne	mauvaise	arasé	corps ?	oui	oui
15	non	moyenne	mauvaise	arasé	non	oui	oui
16	non	mauvaise	mauvaise	arasé	indét.	indét.	non
18	indét.	indét.	bonne	3/4	indét.	indét.	indét.
19	indét.	mauvaise	moyenne	arasé	tête	oui	oui
20D	non	moyenne	moyenne	3/4	non	oui	oui
20E	indét.	mauvaise	mauvaise	3/4	indét.	indét.	oui ?
20F	indét.	mauvaise	mauvaise	3/4	indét.	indét.	oui ?
20G	indét.	mauvaise	mauvaise	3/4	indét.	indét.	oui ?
20A	non	moyenne	mauvaise	3/4	corps	oui	oui
20B	non	mauvaise	mauvaise	3/4	tête	oui	oui
20C	indét.	mauvaise	mauvaise	3/4	non	oui	oui ?
21	oui	moyenne	mauvaise	1/2	corps	oui	oui
22	oui ?	moyenne	moyenne	complet	non	oui	oui
23	indét.	mauvaise	mauvaise	3/4	indét.	indét.	indét.

Annexes

N°Indiv.	Enveloppe Contenant	Représentation du squelette	Conservation osseuse	Conservation de I□Amt	Surélévation	Connexion mandibule	Mobilier
26	oui	moyenne	bonne	3/4	corps	non	oui
27	indét.	mauvaise	mauvaise	complet	indét.	indét.	non
28	indét.	mauvaise	mauvaise	arasé	indét.	indét.	oui
29	non	moyenne	moyenne	complet	non	oui	non
30	oui	moyenne	bonne	arasé	tête	oui	oui
31	oui	bonne	bonne	3/4	non	oui	oui
32	non	moyenne	moyenne	complet	tête	non	oui
33	oui	moyenne	mauvaise	complet	tête	oui	oui
34	oui ?	bonne	bonne	complet	non	oui	non
35	non	bonne	bonne	complet	non	oui	oui

Annexe 23. Résultats des tests U de Mann-Whitney, entre les hommes, les femmes, les adultes non sexés et entre les adultes et les immatures du site du Crès (analyses MPI-EVA et EPOC).

MPI-EVA										
	SommeRgs Hommes	SommeRgs Femmes	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif H	N Actif F	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	86,00	67,00	22,00	1,35	0,18	1,35	0,18	8	9	0,20
$\delta^{15}\text{N}$	86,00	67,00	22,00	1,35	0,18	1,35	0,18	8	9	0,20
	SommeRgs Hommes	SommeRgs Indéterminés	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif H	N Actif I	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	54,00	51,00	18,00	-0,77	0,44	-0,77	0,44	8	6	0,49
$\delta^{15}\text{N}$	70,00	35,00	14,00	1,29	0,20	1,29	0,20	8	6	0,23
	SommeRgs Femmes	SommeRgs Indéterminés	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif F	N Actif I	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	58,00	62,00	13,00	-1,65	0,10	-1,65	0,10	9	6	0,11
$\delta^{15}\text{N}$	68,00	52,00	23,00	-0,47	0,64	-0,47	0,64	9	6	0,69
	SommeRgs Adultes	SommeRgs Enfants	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif A	N Actif E	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	434,50	268,50	148,50	0,51	0,61	0,51	0,61	22	15	0,61
$\delta^{15}\text{N}$	376,50	326,50	123,50	-1,28	0,20	-1,28	0,20	22	15	0,20
EPOC										
	SommeRgs Hommes	SommeRgs Femmes	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif H	N Actif F	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	62,00	43,00	15,00	1,21	0,22	1,22	0,22	7	7	0,26
$\delta^{15}\text{N}$	68,50	36,50	8,50	2,04	0,04	2,05	0,04	7	7	0,04
	SommeRgs Hommes	SommeRgs Indéterminés	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif H	N Actif I	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	42,50	12,50	6,50	0,91	0,36	0,93	0,35	7	3	0,38
$\delta^{15}\text{N}$	42,50	12,50	6,50	0,91	0,36	0,91	0,36	7	3	0,38
	SommeRgs Femmes	SommeRgs Indéterminés	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif F	N Actif I	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	39,00	16,00	10,00	0,11	0,91	0,11	0,91	7	3	1,00
$\delta^{15}\text{N}$	33,50	21,50	5,50	-1,14	0,25	-1,15	0,25	7	3	0,27
	SommeRgs Adultes	SommeRgs Enfants	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif A	N Actif E	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	242,00	164,00	86,00	0,46	0,64	0,47	0,64	16	12	0,66
$\delta^{15}\text{N}$	252,00	154,00	76,00	0,93	0,35	0,93	0,35	16	12	0,37

Annexe 24. $\delta^{15}\text{N}$ et $\delta^{13}\text{C}$ moyenne, écart-type (à 1σ), médiane, minimum et maximum des individus adultes du site du Crès en fonction de l'estimation de l'âge au décès. Analyses MPI-EVA et EPOC.

	N	Moyenne	σ	Médiane	Minimum	Maximum
MPI-EVA						
$\delta^{15}\text{N}$ (‰)						
> 20 ans	4	9,0	0,5	8,9	8,6	9,8
20-39 ans	1	9,0				
20-49 ans	3	10,4	1,5	9,6	9,5	12,1
> 30 ans	2	8,0	1,2	8,0	7,1	8,8
> 40 ans	1	9,1				
> 50 ans	3	9,0	1,0	8,6	8,3	10,1
$\delta^{13}\text{C}$ (‰)						
> 20 ans	4	-19,6	0,1	-19,7	-19,7	-19,4
20-39 ans	1	-19,4				
20-49 ans	3	-19,9	0,8	-19,6	-20,8	-19,3
> 30 ans	2	-20,3	0,1	-20,3	-20,4	-20,2
> 40 ans	1	-19,8				
> 50 ans	3	-19,6	0,4	-19,5	-20,0	-19,3
EPOC						
$\delta^{15}\text{N}$ (‰)						
> 20 ans	4	7,9	0,4	7,9	7,5	8,4
20-39 ans	1	8,1				
20-49 ans	3	9,4	1,5	9,1	8,1	11,1
> 30 ans	1	6,8				
> 40 ans	1	7,7				
> 50 ans	1	8,8				
$\delta^{13}\text{C}$ (‰)						
> 20 ans	4	-19,1	0,4	-19,2	-19,5	-18,6
20-39 ans	1	-19,3				
20-49 ans	3	-19,9	0,7	-19,8	-20,6	-19,3
> 30 ans	1	-19,5				
> 40 ans	1	-18,9				
> 50 ans	1	-19,2				

Annexe 25. Résultats des tests U deMann-Whitney de comparaison des données isotopiques (analyses MPI-EVA et EPOC) des individus en fonction des groupes d'âge sur le site du Crès.

Analyses MPI-EVA										
	SommeRgs < 50 ans	SommeRgs > 50 ans	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif < 50 ans	N Actif > 50 ans	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	15,00	13,00	5,00	-0,35	0,72	-0,35	0,72	4	3	0,86
$\delta^{15}\text{N}$	19,00	9,00	3,00	1,06	0,29	1,06	0,29	4	3	0,40
Analyses EPOC										
	SommeRgs < 50 ans	SommeRgs > 30 ans	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif < 50 ans	N Actif > 30 ans	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	24,00	31,00	10,00	0,43	0,67	0,43	0,67	4	6	0,76
$\delta^{15}\text{N}$	30,00	25,00	4,00	1,71	0,09	1,71	0,09	4	6	0,11

Annexe 26. Corrélations entre les valeurs isotopiques et l'âge au décès estimé des enfants du Crès. Analyses MPI-EVA et EPOC.

	Moyenne	Ec-Type	r(X,Y)	r ²	t	p	N	Constnte dép : Y	Pente dép : Y	Constnte dép : X	Pente dép : X
Analyses MPI-EVA											
Age enfants	7,93	2,78									
δ ¹³ C	-19,83	0,34	-0,12	0,01	-0,43	0,68	15,00	-19,72	-0,01	-10,94	-0,95
Age enfants	7,93	2,78									
δ ¹⁵ N	9,24	0,58	0,58	0,34	2,56	0,02	15,00	8,28	0,12	-17,62	2,76
Analyses EPOC											
Age enfants	7,04	2,02									
δ ¹³ C	-19,52	0,27	-0,04	0,00	-0,13	0,90	12,00	-19,49	-0,01	1,26	-0,30
Age enfants	7,04	2,02									
δ ¹⁵ N	7,99	0,53	-0,02	0,00	-0,07	0,95	12,00	8,03	-0,01	7,67	-0,08

Annexe 27. Corrélations, probabilités exactes de Fisher entre les facteurs sexe et taille, et tests U de Mann-Withney, entre les valeurs isotopiques (MPI-EVA et EPOC) et la stature, des hommes, des femmes et de l'ensemble des individus du site du Crès. P : petits ; M : moyens ; G : grands.

	Moyenne	Ec-Type	r(X,Y)	r ²	t	p	N	Constnte dép : Y	Pente dép : Y	Constnte dép : X	Pente dép : X
MPI-EVA Femmes											
δ ¹³ C	-20,01	0,51									
stature	148,79	5,67	0,21	0,04	0,56	0,59	9,00	195,16	2,32	-22,75	0,02
δ ¹⁵ N	8,19	1,72									
stature	148,79	5,67	0,52	0,27	1,62	0,15	9,00	134,64	1,73	-15,37	0,16
Hommes											
δ ¹³ C	-19,77	0,52									
stature	157,69	7,18	-0,43	0,18	-1,16	0,29	8,00	41,71	-5,87	-14,86	-0,03
δ ¹⁵ N	9,51	1,14									
stature	157,69	7,18	-0,07	0,01	-0,18	0,87	8,00	162,01	-0,45	11,32	-0,01
Tous les individus											
δ ¹³ C	-19,89	0,50									
stature	152,83	7,51	0,04	0,00	0,14	0,89	18,00	163,41	0,53	-20,25	0,00
δ ¹⁵ N	8,86	1,55									
stature	152,83	7,51	0,43	0,18	1,89	0,08	18,00	134,46	2,07	-4,59	0,09
EPOC Femmes											
δ ¹³ C	-19,63	0,60									
stature	149,99	5,80	0,10	0,01	0,22	0,83	7,00	168,91	0,96	-21,17	0,01
δ ¹⁵ N	7,79	0,55									
stature	149,99	5,80	0,14	0,02	0,33	0,76	7,00	138,15	1,52	5,74	0,01
Hommes											
δ ¹³ C	-19,31	0,63									
stature	156,24	5,30	-0,08	0,01	-0,18	0,86	7,00	143,04	-0,68	-17,83	-0,01
δ ¹⁵ N	8,76	1,14									
stature	156,24	5,30	0,09	0,01	0,21	0,84	7,00	152,48	0,43	5,67	0,02
Tous les individus											
δ ¹³ C	-19,48	0,59									
stature	152,93	6,06	0,15	0,02	0,56	0,58	15,00	183,69	1,58	-21,76	0,01
δ ¹⁵ N	8,28	0,96									
stature	152,93	6,06	0,33	0,11	1,27	0,23	15,00	135,56	2,10	0,24	0,05

Suite de l'annexe 27.

Test de Fischer exact			
	Petites tailles	Tailles moyennes	Totaux Bruts
N Femmes	6	3	9
%age du total	40,000%	20,000%	60,000%
N Hommes	1	5	6
%age du total	6,667%	33,333%	40,000%
Totaux colonne	7	8	15
%age du total	46,667%	53,333%	
p exact Fisher bilatéral	<u>p= .1189</u>		
	Tailles myennes	Grandes tailles	Totaux Bruts
N Femmes	3	0	3
%age du total	30,000%	0,000%	30,000%
N Hommes	5	2	7
%age du total	50,000%	20,000%	70,000%
Totaux colonne	8	2	10
%age du total	80,000%	20,000%	
p exact Fisher bilatéral	<u>p=1,0000</u>		
	Petites tailles	Grandes tailles	Totaux Bruts
N Femmes	6	0	6
%age du total	66,667%	0,000%	66,667%
N Hommes	1	2	3
%age du total	11,111%	22,222%	33,333%
Totaux colonne	7	2	9
%age du total	77,778%	22,222%	
p exact Fisher bilatéral	<u>p= .0833</u>		

MPI-EVA										
Hommes	SommeRgs P	SommeRgs M	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif P	N Actif M	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	7,00	14,00	4,00	0,00	1,00	0,00	1,00	2,00	4,00	1,00
$\delta^{15}\text{N}$	4,00	17,00	1,00	-1,39	0,16	-1,39	0,16	2,00	4,00	0,27
	SommeRgs P	SommeRgs G	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif P	N Actif G	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	6,00	4,00	1,00	0,77	0,44	0,77	0,44	2,00	2,00	0,67
$\delta^{15}\text{N}$	4,00	6,00	1,00	-0,77	0,44	-0,77	0,44	2,00	2,00	0,67
	SommeRgs M	SommeRgs G	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif M	N Actif G	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	16,00	5,00	2,00	0,93	0,35	0,93	0,35	4,00	2,00	0,53
$\delta^{15}\text{N}$	16,00	5,00	2,00	0,93	0,35	0,93	0,35	4,00	2,00	0,53
Femmes	SommeRgs P	SommeRgs G	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif P	N Actif G	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	20,50	15,50	5,50	-0,60	0,55	-0,60	0,55	5,00	3,00	0,57
$\delta^{15}\text{N}$	17,00	19,00	2,00	-1,64	0,10	-1,64	0,10	5,00	3,00	0,14
Tous les individus	SommeRgs P	SommeRgs M	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif P	N Actif M	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	66,50	69,50	21,50	-1,06	0,29	-1,06	0,29	9,00	7,00	0,30
$\delta^{15}\text{N}$	55,00	81,00	10,00	-2,28	0,02	-2,28	0,02	9,00	7,00	0,02
	SommeRgs P	SommeRgs G	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif P	N Actif G	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	55,00	11,00	8,00	0,24	0,81	0,24	0,81	9,00	2,00	0,91
$\delta^{15}\text{N}$	52,00	14,00	7,00	-0,47	0,64	-0,47	0,64	9,00	2,00	0,73
	SommeRgs M	SommeRgs G	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif M	N Actif G	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	38,00	7,00	4,00	0,88	0,38	0,88	0,38	7,00	2,00	0,50
$\delta^{15}\text{N}$	38,00	7,00	4,00	0,88	0,38	0,88	0,38	7,00	2,00	0,50

Suite de l'annexe 27.

EPOC										
	SommeRgs P	SommeRgs M	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif P	N Actif M	2*(1-p) p exact
Hommes										
$\delta^{13}\text{C}$	8,50	12,50	2,50	0,69	0,49	0,70	0,48	2,00	4,00	0,53
$\delta^{15}\text{N}$	3,00	18,00	0,00	-1,85	0,06	-1,85	0,06	2,00	4,00	0,13
Femmes										
$\delta^{13}\text{C}$	11,00	10,00	4,00	0,22	0,83	0,22	0,83	3,00	3,00	1,00
$\delta^{15}\text{N}$	9,00	12,00	3,00	-0,65	0,51	-0,66	0,51	3,00	3,00	0,70
Tous les individus										
$\delta^{13}\text{C}$	53,50	51,50	23,50	0,13	0,90	0,13	0,90	7,00	7,00	0,90
$\delta^{15}\text{N}$	35,50	69,50	7,50	-2,17	0,03	-2,18	0,03	7,00	7,00	0,03

Annexe 28. Résultats des tests U de Mann-Whitney, entre les groupes de structures dans lesquels les individus du Crès sont inhumés. Dom : domestique ; Fun : funéraire ; Disp : funéraire avec dispositif en pierre. Analyses MPI-EVA et EPOC.

MPI-EVA										
	SommeRgs Fun	SommeRgs Dom	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif F	N Actif Do	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	143,50	132,50	54,50	0,71	0,48	0,71	0,48	11,00	12,00	0,49
$\delta^{15}\text{N}$	133,00	143,00	65,00	0,06	0,95	0,06	0,95	11,00	12,00	0,98
	SommeRgs Fun	SommeRgs Disp	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif F	N Actif Di	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	99,00	91,00	33,00	-0,91	0,36	-0,91	0,36	11,00	8,00	0,40
$\delta^{15}\text{N}$	121,00	69,00	33,00	0,91	0,36	0,91	0,36	11,00	8,00	0,40
	SommeRgs Dom	SommeRgs Disp	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Do	N Actif Di	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	107,00	103,00	29,00	-1,47	0,14	-1,47	0,14	12,00	8,00	0,16
$\delta^{15}\text{N}$	142,50	67,50	31,50	1,27	0,20	1,27	0,20	12,00	8,00	0,21
EPOC										
	SommeRgs Fun	SommeRgs Dom	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif F	N Actif Do	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	114,50	116,50	38,50	1,10	0,27	1,11	0,27	9,00	12,00	0,28
$\delta^{15}\text{N}$	81,00	150,00	36,00	-1,28	0,20	-1,28	0,20	9,00	12,00	0,22
	SommeRgs Fun	SommeRgs Disp	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif F	N Actif Di	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	59,00	61,00	14,00	-1,53	0,13	-1,54	0,12	9,00	6,00	0,14
$\delta^{15}\text{N}$	65,00	55,00	20,00	-0,82	0,41	-0,83	0,41	9,00	6,00	0,46
	SommeRgs Dom	SommeRgs Disp	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Do	N Actif Di	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	90,00	81,00	12,00	-2,25	0,02	-2,26	0,02	12,00	6,00	0,02
$\delta^{15}\text{N}$	119,50	51,50	30,50	0,52	0,61	0,52	0,60	12,00	6,00	0,62

Annexe 29. Résultats des comparaisons multiples des rangs moyens, des ANOVA de Kruskal-Wallis (H) et tests U de Mann-Whitney entre les différents types de structures (définis par Loison *et al.*, 2004) dans lesquels les individus du Crès sont inhumés. FS : fosse sépulcrale simple ; PDPP(B) : fosse à petit diamètre peu profonde (avec bloc de parement) ; FSO(B) : fosse à ouverture oblongue (avec bloc de parement) ; GDP(P)(N)(B) : fosse à grand diamètre (peu) profonde (avec niche ou bloc de parement) ; SR : fosse de stockage. Analyses MPI-EVA et EPOC.

$\delta^{13}\text{C}$						$\delta^{15}\text{N}$				
MPI-EVA										
Test de Kruskal-Wallis : H (4, N= 38) =8,509051 p =,074						Test de Kruskal-Wallis : H (4, N= 38) =9,487424 p =, 050				
	FS	GDP	SR	PDPP	FSO	FS	GDP	SR	PDPP	
FS (n= 3)		1,000000	0,920942	1,000000	1,000000	FS	1,000000	1,000000	1,000000	
GDP (n= 9)	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	GDP	1,000000	0,223483	0,035232	
SR (n= 12)	0,920942	1,000000		1,000000	0,094716	SR	1,000000	0,223483		1,000000
PDPP (n= 8)	1,000000	1,000000	1,000000		0,402193	PDPP	1,000000	0,035232	1,000000	
FSO (n= 6)	1,000000	1,000000	0,094716	0,402193		FSO	1,000000	0,922555	1,000000	1,000000
EPOC										
Test de Kruskal-Wallis : H (4, N= 30) =11,13600 p =, 025						Test de Kruskal-Wallis : H (4, N= 30) =4,947798 p =,292				
	FS	GDP	SR	PDPP	FSO	FS	GDP	SR	PDPP	
FS (n= 3)		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	FS	1,000000	1,000000	1,000000	
GDP (n= 8)	1,000000		0,026370	0,129298	1,000000	GDP	1,000000	1,000000	1,000000	
SR (n= 12)	1,000000	0,026370		1,000000	1,000000	SR	1,000000	1,000000		1,000000
PDPP (n= 5)	1,000000	0,129298	1,000000		1,000000	PDPP	1,000000	1,000000	1,000000	
FSO (n= 2)	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		FSO	1,000000	0,406090	1,000000	0,648260

MPI-EVA										
	SommeRgs GDP	SommeRgs SR	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif GDP	N Actif SR	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	113,00	118,00	40,00	0,99	0,32	1,00	0,32	9,00	12,00	0,35
$\delta^{15}\text{N}$	67,00	164,00	22,00	-2,27	0,02	-2,27	0,02	9,00	12,00	0,02
	SommeRgs GDP	SommeRgs PDPP	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif GDP	N Actif PDPP	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	87,50	65,50	29,50	0,63	0,53	0,63	0,53	9,00	8,00	0,54
$\delta^{15}\text{N}$	53,50	99,50	8,50	-2,65	0,01	-2,65	0,01	9,00	8,00	0,01
	SommeRgs SR	SommeRgs FSO	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif SR	N Actif FSO	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	85,50	85,50	7,50	-2,67	0,01	-2,67	0,01	12,00	6,00	0,00
$\delta^{15}\text{N}$	117,00	54,00	33,00	0,28	0,78	0,28	0,78	12,00	6,00	0,82
	SommeRgs PDPP	SommeRgs FSO	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif PDPP	N Actif FSO	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	43,50	61,50	7,50	-2,13	0,03	-2,13	0,03	8,00	6,00	0,03
$\delta^{15}\text{N}$	68,00	37,00	16,00	1,03	0,30	1,03	0,30	8,00	6,00	0,34
EPOC										
	SommeRgs GDP	SommeRgs SR	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif GDP	N Actif SR	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	119,50	90,50	12,50	2,74	0,01	2,75	0,01	8,00	12,00	0,00
$\delta^{15}\text{N}$	67,00	143,00	31,00	-1,31	0,19	-1,32	0,19	8,00	12,00	0,21
	SommeRgs GDP	SommeRgs PDPP	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif GDP	N Actif PDPP	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	73,50	17,50	2,50	2,56	0,01	2,59	0,01	8,00	5,00	0,01
$\delta^{15}\text{N}$	56,00	35,00	20,00	0,00	1,00	0,00	1,00	8,00	5,00	1,00

Annexe 30. Résultats des tests U de Mann-Whitney entre les valeurs isotopiques des individus du Crès chez lesquels on observe différents types de pratiques funéraires : inhumation en espace vide (V) ou climaté (C), inhumation simple (S) ou pluriel (P), les secteurs d'inhumation (S2, S3, S4, S6), la position des défunts (E : en extension ; C : sur le côté) et la présence (O) ou l'absence (N) de mobilier funéraire. Analyses MPI-EVA et EPOC.

MPI-EVA										
	SommeRgs V	SommeRgs C	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif V	N Actif C	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	383,00	145,00	83,00	-0,57	0,57	-0,57	0,57	24	8	0,59
$\delta^{15}\text{N}$	384,50	143,50	84,50	-0,50	0,62	-0,50	0,62	24	8	0,62
MPI-EVA										
	SommeRgs S	SommeRgs P	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif S	N Actif P	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	419,50	321,50	131,50	1,43	0,15	1,43	0,15	19	19	0,15
$\delta^{15}\text{N}$	294,00	447,00	104,00	-2,23	0,03	-2,23	0,03	19	19	0,03
EPOC										
	SommeRgs V	SommeRgs C	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif V	N Actif C	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	101,50	249,50	39,50	1,25	0,21	1,26	0,21	6	20	0,22
$\delta^{15}\text{N}$	105,00	246,00	36,00	1,46	0,14	1,47	0,14	6	20	0,16
	SommeRgs S	SommeRgs P	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif S	N Actif P	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	247,50	217,50	64,50	1,93	0,05	1,94	0,05	13	17	0,05
$\delta^{15}\text{N}$	227,00	238,00	85,00	1,07	0,29	1,07	0,28	13	17	0,30

MPI-EVA										
	SommeRgs S2	SommeRgs S6	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif S2	N Actif S6	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	142,50	182,50	37,50	-2,16	0,03	-2,16	0,03	14	11	0,03
$\delta^{15}\text{N}$	177,50	147,50	72,50	-0,25	0,81	-0,25	0,81	14	11	0,81
EPOC										
	SommeRgs S2	SommeRgs S6	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif S2	N Actif S6	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	91,50	61,50	13,50	-1,74	0,08	-1,75	0,08	12	5	0,08
$\delta^{15}\text{N}$	85,00	68,00	7,00	-2,42	0,02	-2,43	0,01	12	5	0,01
	SommeRgs S3	SommeRgs S6	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif S3	N Actif S6	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	23,00	43,00	2,00	-2,37	0,02	-2,42	0,02	6	5	0,02
$\delta^{15}\text{N}$	30,50	35,50	9,50	-1,00	0,32	-1,01	0,31	6	5	0,33

Position du défunt										
MPI-EVA										
	SommeRgs C	SommeRgs E	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif C	N Actif E	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	284,00	244,00	73,00	2,01	0,04	2,01	0,04	14	18	0,05
$\delta^{15}\text{N}$	225,50	302,50	120,50	-0,21	0,83	-0,21	0,83	14	18	0,84
EPOC										
	SommeRgs C	SommeRgs E	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif C	N Actif E	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	153,00	123,00	45,00	1,29	0,20	1,30	0,19	11	12	0,21
$\delta^{15}\text{N}$	165,00	111,00	33,00	2,03	0,04	2,04	0,04	11	12	0,04

Présence/absence de restes de coquilles marines associés au défunt										
MPI-EVA										
	SommeRgs N	SommeRgs O	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif N	N Actif O	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	646,00	95,00	51,00	-0,81	0,42	-0,81	0,42	34	4	0,45
$\delta^{15}\text{N}$	640,50	100,50	45,50	-1,07	0,28	-1,07	0,28	34	4	0,30
EPOC										
	SommeRgs O	SommeRgs N	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif O	N Actif N	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	338,50	126,50	13,50	-2,73	0,01	-2,74	0,01	25	5	0,00
$\delta^{15}\text{N}$	365,50	99,50	40,50	-1,22	0,22	-1,23	0,22	25	5	0,23

Annexes du chapitre V

Annexe 31. Résultats des tests H de Kruskal-Wallis et des « p » associés aux comparaisons multiples des rangs moyens, entre les valeurs isotopiques de chaque taxons entre les sites des phases anciennes du Néolithique.

$\delta^{13}\text{C}$ bovins. Test de Kruskal-Wallis : H (4, N= 13) =7,806094 p =,098					
	AC	BB	FB	Pendimoun	Unang
AC (n= 2)		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
BB (n= 2)	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000
FB (n= 3)	1,000000	1,000000		0,591721	1,000000
Pendimoun (n= 3)	1,000000	1,000000	0,591721		0,102199
Unang (n= 3)	1,000000	1,000000	1,000000	0,102199	
$\delta^{15}\text{N}$ bovins. Test de Kruskal-Wallis : H (4, N= 13) =10,62881 p =,031					
	AC	BB	FB	Pendimoun	Unang
AC		0,626555	0,607612	1,000000	1,000000
BB	0,626555		1,000000	0,121376	1,000000
FB	0,607612	1,000000		0,087746	1,000000
Pendimoun	1,000000	0,121376	0,087746		1,000000
Unang	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	

$\delta^{13}\text{C}$ caprinés. Test de Kruskal-Wallis : H (4, N= 20) =5,383933 p =,250					
	AC	BB	FB	Pendimoun	Unang
AC (n= 3)		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
BB (n= 5)	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000
FB (n= 3)	1,000000	1,000000		1,000000	0,299026
Pendimoun (n= 3)	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000
Unang (n= 3)	1,000000	1,000000	0,299026	1,000000	
$\delta^{15}\text{N}$ caprinés. Test de Kruskal-Wallis : H (4, N= 20) =1,719270 p =,787					
	AC	BB	FB	Pendimoun	Unang
AC		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
BB	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000
FB	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000
Pendimoun	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000
Unang	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	

Suite de l'annexe 31.

$\delta^{13}\text{C}$ cervidés. Test de Kruskal-Wallis : H (4, N= 12) =9,124259 p =,058					
	AC	BB	FB	Pendimoun	Unang
AC (n= 3)		1,000000	1,000000	1,000000	0,149167
BB (n= 1)	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000
FB (n= 3)	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000
Pendimoun (n= 2)	1,000000	1,000000	1,000000		0,121923
Unang (n= 3)	0,149167	1,000000	1,000000	0,121923	

$\delta^{15}\text{N}$ cervidés. Test de Kruskal-Wallis : H (4, N= 12) =5,184795 p =,268					
	AC	BB	FB	Pendimoun	Unang
AC		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
BB	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000
FB	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000
Pendimoun	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000
Unang	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	

$\delta^{13}\text{C}$ suinés. Test de Kruskal-Wallis : H (2, N= 8) =5,200803 p =,074			
	AC	FB	Pendimoun
AC (n= 3)		0,352575	0,090781
FB (n= 2)	0,352575		1,000000
Pendimoun (n= 3)	0,090781	1,000000	

$\delta^{15}\text{N}$ suinés. Test de Kruskal-Wallis : H (2, N= 8) =2,472222 p =,290			
	AC	FB	Pendimoun
AC		0,352575	1,000000
FB	0,352575		1,000000
Pendimoun	1,000000	1,000000	

Annexe 32. Résultats des tests U de Mann-Whitney entre les valeurs isotopiques du collagène des chiens des sites du Néolithique moyen (analyses MPI-EVA et EPOC), et entre les valeurs isotopiques du collagène des chiens et des hommes des sites du Crès et de Montou (analyses MPI-EVA et EPOC).

Analyses MPI-EVA										
	SommeRgs Montou	SommeRgs Le Crès	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif MT	N Actif LC	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	29,50	15,50	0,50	2,33	0,02	2,36	0,02	4	5	0,02
$\delta^{15}\text{N}$	27,50	17,50	2,50	1,84	0,07	1,85	0,06	4	5	0,06

Analyses EPOC										
	SommeRgs Montou	SommeRgs Le Crès	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif MT	N Actif LC	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	22,00	6,00	0,00	2,12	0,03	2,12	0,03	4	3	0,06
$\delta^{15}\text{N}$	19,00	9,00	3,00	1,06	0,29	1,06	0,29	4	3	0,40

Suite de l'annexe 32.

MPI-EVA										
	SommeRgs Chiens	SommeRgs Hommes	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Chiens	N Actif Hommes	2*(1-p) p exact
Le Crès										
$\delta^{13}\text{C}$	136,50	809,50	68,50	1,00	0,32	1,01	0,31	5	38	0,33
$\delta^{15}\text{N}$	38,00	908,00	23,00	-2,73	0,01	-2,73	0,01	5	38	0,00
Montou										
$\delta^{13}\text{C}$	26,00	10,00	0,00	2,31	0,02	2,32	0,02	4	4	0,03
$\delta^{15}\text{N}$	18,00	18,00	8,00	0,00	1,00	0,00	1,00	4	4	1,00
EPOC										
	SommeRgs Chiens	SommeRgs Hommes	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Chiens	N Actif Hommes	2*(1-p) p exact
Le Crès										
$\delta^{13}\text{C}$	44,50	516,50	38,50	-0,41	0,68	-0,41	0,68	3	30	0,70
$\delta^{15}\text{N}$	48,00	513,00	42,00	-0,19	0,85	-0,19	0,85	3	30	0,88
Montou										
$\delta^{13}\text{C}$	22,00	23,00	8,00	0,49	0,62	0,49	0,62	4	5	0,73
$\delta^{15}\text{N}$	22,00	23,00	8,00	0,49	0,62	0,49	0,62	4	5	0,73

Annexe 33. Résultats des tests U de Mann-Whitney entre les valeurs isotopiques du collagène de chaque taxon des différents sites du Néolithique (analyses MPI-EVA).

Bovins										
	SommeRgs Pendimoun	SommeRgs Le Crès	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Pendimoun	N Actif LC	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	17,00	19,00	4,00	1,04	0,30	1,05	0,29	3	5	0,39
$\delta^{15}\text{N}$	6,00	30,00	0,00	-2,24	0,03	-2,26	0,02	3	5	0,04
Caprinés										
	SommeRgs Arene Candide	SommeRgs LC	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif AC	N Actif LC	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	17,50	37,50	2,50	-2,09	0,04	-2,10	0,04	5	5	0,03
$\delta^{15}\text{N}$	18,50	36,50	3,50	-1,88	0,06	-1,89	0,06	5	5	0,06
	SommeRgs Fontbrégoua	SommeRgs Montou	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif FB	N Actif Montou	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	26,00	29,00	8,00	0,85	0,39	0,86	0,39	4	6	0,48
$\delta^{15}\text{N}$	10,00	45,00	0,00	-2,56	0,01	-2,56	0,01	4	6	0,01
	SommeRgs FB	SommeRgs LC	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif FB	LCN Actif LC	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	20,50	24,50	9,50	0,12	0,90	0,12	0,90	4	5	0,90
$\delta^{15}\text{N}$	10,00	35,00	0,00	-2,45	0,01	-2,46	0,01	4	5	0,02
	SommeRgs Baume Bourbon	SommeRgs Montou	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif BB	N Actif Montou	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	26,00	40,00	11,00	-0,73	0,47	-0,74	0,46	5	6	0,54
$\delta^{15}\text{N}$	15,00	51,00	0,00	-2,74	0,01	-2,74	0,01	5	6	0,00
	SommeRgs BB	SommeRgs LC	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif BB	N Actif LC	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	19,50	35,50	4,50	-1,67	0,09	-1,70	0,09	5	5	0,10
$\delta^{15}\text{N}$	15,00	40,00	0,00	-2,61	0,01	-2,62	0,01	5	5	0,01
	SommeRgs Unang	SommeRgs Montou	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Unang	N Actif Montou	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	3,50	32,50	0,50	-1,83	0,07	-1,84	0,07	2	6	0,07
$\delta^{15}\text{N}$	3,00	33,00	0,00	-2,00	0,05	-2,00	0,05	2	6	0,07
	SommeRgs Pendimoun	SommeRgs Montou	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Pendimoun	N Actif Montou	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	18,50	36,50	8,50	-0,75	0,46	-0,75	0,45	4	6	0,48
$\delta^{15}\text{N}$	12,00	43,00	2,00	-2,13	0,03	-2,13	0,03	4	6	0,04

Annexe 34. Résultats des tests U de Mann-Whitney, entre les hommes, les femmes, les adultes non sexés et les enfants, du site du Crès (analyses MPI-EVA).

	SommeRgs Hommes	SommeRgs Femmes	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Hommes	N Actif Femmes	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	78,00	58,00	22,00	1,05	0,29	1,05	0,29	8	8	0,33
$\delta^{15}\text{N}$	84,00	52,00	16,00	1,68	0,09	1,68	0,09	8	8	0,10
	SommeRgs Femmes	SommeRgs Enfants	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Femmes	N Actif Enfants	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	87,50	143,50	51,50	-0,04	0,97	-0,04	0,97	8	13	0,97
$\delta^{15}\text{N}$	63,00	168,00	27,00	-1,81	0,07	-1,81	0,07	8	13	0,08
	SommeRgs Hommes	SommeRgs Enfants	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Hommes	N Actif Enfants	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	102,00	129,00	38,00	1,01	0,31	1,01	0,31	8	13	0,34
$\delta^{15}\text{N}$	84,00	147,00	48,00	-0,29	0,77	-0,29	0,77	8	13	0,80
	SommeRgs Indéterminés	SommeRgs Enfants	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Indéterminés	N Actif Enfants	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	77,00	113,00	22,00	1,49	0,14	1,49	0,14	6	13	0,15
$\delta^{15}\text{N}$	48,00	142,00	27,00	-1,05	0,29	-1,05	0,29	6	13	0,32
	SommeRgs Indéterminés	SommeRgs Femmes	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Indéterminés	N Actif Femmes	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	56,00	49,00	13,00	1,42	0,16	1,42	0,16	6	8	0,18
$\delta^{15}\text{N}$	52,00	53,00	17,00	0,90	0,37	0,91	0,37	6	8	0,41
	SommeRgs Hommes	SommeRgs Indéterminés	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Hommes	N Actif Indéterminés	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}\text{C}$	54,00	51,00	18,00	-0,77	0,44	-0,77	0,44	8	6	0,49
$\delta^{15}\text{N}$	70,00	35,00	14,00	1,29	0,20	1,29	0,20	8	6	0,23

Annexe 35. Résultats des tests H de Kruskal-Wallis et des « p » associés aux comparaisons multiples des rangs moyens, entre les valeurs isotopiques des hommes et des animaux de différents régimes alimentaires (herbivores, omnivores et carnivores) aux phases anciennes du Néolithique et au Néolithique moyen (analyses MPI-EVA et EPOC).

		$\delta^{13}\text{C}$			$\delta^{15}\text{N}$		
Arene Candide	Test de Kruskal-Wallis : H (2, N= 22) =4,901387 p =,086				Test de Kruskal-Wallis : H (2, N= 22) =11,88045 p =,002		
	Herbivores	Omnivores	Hommes	Herbivores	Omnivores	Hommes	
	Herbivores (n = 10)	1,000000	0,235416	1,000000	0,002984		
	Omnivores (n = 3)	1,000000	0,177692	1,000000	0,099439		
Hommes (n = 9)	0,235416	0,177692		0,002984	0,099439		
Fontbrégoua	Test de Kruskal-Wallis : H (2, N= 21) =4,575646 p =,101				Test de Kruskal-Wallis : H (2, N= 21) =15,34811 p =,000		
	Herbivores	Omnivores	Hommes	Herbivores	Omnivores	Hommes	
	Herbivores (n = 10)	1,000000	0,114950	1,000000	1,000000	0,000296	
	Omnivores (n = 2)	1,000000	1,000000	1,000000	0,366156		
Hommes (n = 9)	0,114950	1,000000		0,000296	0,366156		
Baume Bourbon	Test de Kruskal-Wallis : H (1, N= 12) =,4664311 p =,494				Test de Kruskal-Wallis : H (1, N= 12) =7,436620 p =,006		
	Herbivores	s	Hommes	Herbivores		Hommes	
	Herbivores (n = 8)		0,496906			0,006578	
Hommes (n = 4)	0,496906			0,006578			

Suite de l'annexe 35.

Unang Herbivores (n = 8) Omnivore (n= 1) Homme (n= 1)	Test de Kruskal-Wallis : H (2, N= 10) =2,963415 p =,227			Test de Kruskal-Wallis : H (2, N= 10) =3,559091 p =,168		
	Herbivores	Omnivore	Homme	Herbivores	Omnivore	Homme
		0,417302	1,000000		0,879812	0,449413
	0,417302		0,306243	0,879812		0,185120
Pendimoun Herbivores (n = 9) Omnivores (n= 3) Hommes (n= 4)	Test de Kruskal-Wallis : H (2, N= 16) =,2579512 p =,879			Test de Kruskal-Wallis : H (2, N= 16) =10,87512 p =,004		
	Herbivores	Omnivores	Hommes	Herbivores	Omnivores	Hommes
		1,000000	1,000000		0,370456	0,003800
	1,000000		1,000000	0,370456		0,700127
	1,000000	1,000000	0,003800		0,700127	

$\delta^{13}\text{C}$					$\delta^{15}\text{N}$			
MPI-EVA								
Montou Carnivores (n= 4) Herbivores (n = 9) Omnivores (n= 2) Hommes (n= 4)	Test de Kruskal-Wallis : H (3, N= 19) =4,029982 p =,258				Test de Kruskal-Wallis : H (3, N= 19) =12,63357 p =,005			
	Carnivores	Herbivores	Omnivores	Hommes	Carnivores	Herbivores	Omnivores	Hommes
		0,321355	0,996185	1,000000		0,032972	0,307515	1,000000
	0,321355		1,000000	1,000000	0,032972		1,000000	0,041287
	0,996185	1,000000		1,000000	0,307515	1,000000		0,346129
	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,041287	0,346129		
Les Plots Carnivore (n= 1) Herbivores (n = 3) Omnivores (n= 2) Homme (n= 1)	Test de Kruskal-Wallis : H (3, N= 7) =4,109091 p =,249				Test de Kruskal-Wallis : H (3, N= 7) =4,571429 p =,206			
	Carnivore	Herbivores	Omnivores	Homme	Carnivore	Herbivores	Omnivores	Homme
		0,368213	1,000000	1,000000		0,368213	1,000000	1,000000
	0,368213		1,000000	1,000000	0,368213		1,000000	0,849473
	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000		1,000000
	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,849473	1,000000		
Le Crès Carnivores (n= 5) Herbivores (n = 11) Hommes (n= 39)	Test de Kruskal-Wallis : H (2, N= 55) =3,215029 p =,200			Test de Kruskal-Wallis : H (2, N= 55) =27,95788 p =,000				
	Carnivores	Herbivores	Hommes	Carnivores	Herbivores	Hommes		
		0,255652	0,891587		0,559106	0,091135		
	0,255652		0,613577	0,559106		0,000001		
	0,891587	0,613577	0,091135	0,000001				

Suite de l'annexe 35.

EPOC												
Montou	Test de Kruskal-Wallis : H (3, N= 21) =6,704417 p =,081						Test de Kruskal-Wallis : H (3, N= 21) =14,53749 p =,002					
	Carnivores (n= 4)		Herbivores	Omnivores	Hommes		Carnivores	Herbivores	Omnivores	Hommes		
			0,281536	1,000000	1,000000			0,075202	0,052955	1,000000		
	Herbivores (n = 6)	0,281536		1,000000	0,172614		0,075202		1,000000	0,036314		
	Omnivores (n= 5)	1,000000	1,000000		0,903908		0,052955	1,000000		0,025682		
Hommes (n= 5)	1,000000	0,172614	0,903908			1,000000	0,036314	0,025682				
Les Plots	Test de Kruskal-Wallis : H (3, N= 7) =4,928571 p =,177						Test de Kruskal-Wallis : H (3, N= 7) =4,442308 p =,217					
	Carnivore (n= 1)		Herbivores	Omnivore	Homme		Carnivore	Herbivores	Omnivore	Homme		
			0,374624	1,000000	1,000000			1,000000	1,000000	1,000000		
	Herbivores (n = 4)	0,374624		0,883795	1,000000		1,000000		1,000000	0,723044		
	Omnivore (n= 1)	1,000000	0,883795		1,000000		1,000000	1,000000		0,610242		
Homme (n= 1)	1,000000	1,000000	1,000000			1,000000	0,723044	0,610242				
Le Crès	Test de Kruskal-Wallis : H (2, N= 42) =3,776918 p =,151						Test de Kruskal-Wallis : H (2, N= 42) =17,73039 p =,000					
	Carnivores (n= 3)		Herbivores		Hommes		Carnivores	Herbivores		Hommes		
			1,000000		1,000000			0,069146		1,000000		
	Herbivores (n = 8)	1,000000			0,159604		0,069146			0,000086		
Hommes (n= 31)	1,000000	0,159604				1,000000	0,000086					

Annexe 36. Résultats des tests U de Mann-Whitney entre les valeurs isotopiques du collagène humain des différents sites du Néolithique. Analyse MPI-EVA et EPOC.

Phases anciennes du Néolithique	SommeRgs AC	SommeRgs BB	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif AC	N Actif BB	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}C$	55,50	22,50	12,50	0,59	0,55	0,60	0,55	8	4	0,57
$\delta^{15}N$	40,00	38,00	4,00	-2,04	0,04	-2,05	0,04	8	4	0,05
	SommeRgs AC	SommeRgs FB	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif AC	N Actif FB	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}C$	71,00	82,00	35,00	-0,10	0,92	-0,10	0,92	8	9	0,96
$\delta^{15}N$	46,00	107,00	10,00	-2,50	0,01	-2,52	0,01	8	9	0,01
	SommeRgs BB	SommeRgs Pendimoun	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif BB	N Actif Pendimoun	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}C$	13,00	23,00	3,00	-1,44	0,15	-1,46	0,14	4	4	0,20
$\delta^{15}N$	26,00	10,00	0,00	2,31	0,02	2,32	0,02	4	4	0,03
	SommeRgs FB	SommeRgs Pendimoun	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif FB	N Actif Pendimoun	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}C$	60,50	30,50	15,50	-0,39	0,70	-0,42	0,67	9	4	0,71
$\delta^{15}N$	81,00	10,00	0,00	2,78	0,01	2,79	0,01	9	4	0,00
	SommeRgs AC sans 5BB	SommeRgs Pendimoun	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif AC sans 5BB	N Actif P	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}C$	41,00	25,00	13,00	-0,19	0,85	-0,19	0,85	7	4	0,93
$\delta^{15}N$	53,00	13,00	3,00	2,08	0,04	2,10	0,04	7	4	0,04
	SommeRgs AC sans 5BB	SommeRgs FB	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif AC sans 5BB	N Actif FB	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}C$	63,00	73,00	28,00	0,37	0,71	0,38	0,70	7	9	0,76
$\delta^{15}N$	38,00	98,00	10,00	-2,28	0,02	-2,30	0,02	7	9	0,02
	SommeRgs AC sans 5BB	SommeRgs BB	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif AC sans 5BB	N Actif BB	2*(1-p) p exact
$\delta^{13}C$	47,50	18,50	8,50	1,04	0,30	1,05	0,30	7	4	0,32
$\delta^{15}N$	32,00	34,00	4,00	-1,89	0,06	-1,90	0,06	7	4	0,07

Suite de l'annexe 36.

	SommeRgs	SommeRgs	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif	N Actif	2*(1-p) p exact
Montbolo et Chasséen MPI-EVA	Montou	Le Crès						MT	LC	
$\delta^{13}\text{C}$	117,50	785,50	44,50	1,35	0,18	1,36	0,18	4	38	0,18
$\delta^{15}\text{N}$	72,50	830,50	62,50	-0,58	0,56	-0,58	0,56	4	38	0,58
Montbolo et Chasséen EPOC	Montou	Le Crès						MT	LC	
$\delta^{13}\text{C}$	153,50	476,50	11,50	2,99	0,00	3,01	0,00	5	30	0,00
$\delta^{15}\text{N}$	103,50	526,50	61,50	0,64	0,52	0,64	0,52	5	30	0,54
Ensemble du Néolithique	Fontbrégoua	Montou						FB	MT	
$\delta^{13}\text{C}$	45,00	46,00	0,00	-2,78	0,01	-2,92	0,00	9	4	0,00
$\delta^{15}\text{N}$	68,00	23,00	13,00	0,77	0,44	0,78	0,44	9	4	0,50
	Baume Bourbon	MT						BB	MT	
$\delta^{13}\text{C}$	10,00	26,00	0,00	-2,31	0,02	-2,31	0,02	4	4	0,03
$\delta^{15}\text{N}$	24,00	12,00	2,00	1,73	0,08	1,74	0,08	4	4	0,11
	BB	Le Crès						BB	LC	
$\delta^{13}\text{C}$	47,50	855,50	37,50	-1,65	0,10	-1,66	0,10	4	38	0,10
$\delta^{15}\text{N}$	135,00	768,00	27,00	2,10	0,04	2,10	0,04	4	38	0,03
	Pendimoun	LC						P	LC	
$\delta^{13}\text{C}$	73,00	830,00	63,00	-0,56	0,58	-0,56	0,58	4	38	0,61
$\delta^{15}\text{N}$	26,50	876,50	16,50	-2,55	0,01	-2,55	0,01	4	38	0,01

Étude des modes de subsistance de populations néolithiques (VI^e-IV^e millénaires av. J.-C.) dans le nord-ouest de la Méditerranée. Approche par l'utilisation des isotopes stables ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) du collagène.

Résumé :

Depuis la fin du VII^e millénaire av. J.-C., le nord-ouest de la Méditerranée connaît de nombreux changements socio-économiques et culturels inhérents aux processus de néolithisation. L'acquisition de techniques agropastorales entraîne des modifications dans les modes de subsistance des premières populations néolithiques, transformations principalement mises en évidence par les études archéologiques, archéozoologiques et archéobotaniques. L'utilisation de méthodes biochimiques tels que le dosage des isotopes stables ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) du collagène osseux, témoins directs de l'alimentation protéinique, permet de nouvelles investigations anthropologiques. Des analyses isotopiques ont été réalisées sur une centaine d'individus humains du Néolithique ancien et moyen, provenant de onze sites archéologiques du sud de la France et de la Ligurie. Ces dernières ont contribué à mieux percevoir l'influence de facteurs biologiques et culturels sur les choix alimentaires. Il ressort notamment de cette étude que malgré la proximité du milieu marin, les ressources halieutiques sont peu présentes dans l'alimentation et qu'il existe quelques différences intra et inter populationnelles pouvant être mis en relation avec des critères biologiques et archéologiques.

Mots clés : Néolithique ancien, Néolithique moyen, isotopes stables, carbone, azote, alimentation, sud de la France, Ligurie.

Ernährungsrekonstruktion jungsteinzeitlicher Populationen (6. – 4. Jahrtausend v. Chr.) aus dem Nordwestlichen Mittelmeerraum anhand der Analyse stabiler Isotope in Knochenkollagen ($\delta^{13}\text{C}$ und $\delta^{15}\text{N}$).

Zusammenfassung :

Im Zuge der Neolithisierung des Nordwestlichen Mittelmeerraumes am Ende des 7. Jahrtausends v. Chr. erfolgte ein tief greifender sozio-ökonomischer Wandel. Der Übergang zur Landwirtschaft führte zu Änderungen in der Ernährungsweise der ersten neolithischen Bevölkerungen, die durch archäologische, archäozoologische und archäobotanische Studien belegt sind. Die Analyse stabiler Kohlen- und Stickstoffisotope ($\delta^{13}\text{C}$ und $\delta^{15}\text{N}$) in Skelettmaterial erlaubt die Rekonstruktion menschlicher Ernährung direkt vom Individuum und ermöglicht es, die Umwelt der Menschen und ihre Stellung im lokalen Nahrungsnetzwerk zu verstehen. Diese Analysen wurden für etwa hundert früh- und mittelneolithische Individuen aus Südfrankreich und Ligurien durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass, marine Nahrungsmittel trotz der relativen Küstennähe keine bedeutende Rolle in der Ernährung spielten, und dass sozio-ökonomisch begründete Ernährungsunterschiede sowohl zwischen, als auch innerhalb der einzelnen Populationen existierten.

Schlüsselworte: Frühneolithikum, Mittelneolithikum, stabile Isotope, Kohlenstoff, Stickstoff, Ernährung, Südfrankreich, Ligurien.

Reconstructing the diets of Neolithic human populations (6th-4th millennium BC) from the Northwestern Mediterranean using bone collagen stable isotope analysis ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$).

Abstract:

At the end of the 7th millennium BC, social and economic changes occurred in the Northwestern Mediterranean linked with the introduction of Neolithic material culture into the region. A key change was the introduction of new methods of food production, particularly animal husbandry and agricultural techniques, as evidenced by archaeological, archaeozoological and archaeobotanic studies. Stable isotope analyses ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) of human bone collagen provides direct dietary information on the protein sources in human diets, including the relative amounts of marine vs. terrestrial and animal vs. plant protein in diets. Isotopic analysis was performed on one hundred human remains from early and middle Neolithic sites in South of France and Liguria, and on associated animal bones. Results indicate among others things that despite the relatively close proximity to the sea, there was no evidence of any significant consumption of marine foods. Additionally, there was some difference in isotopic values within and between populations which may indicate that there was possible dietary social differentiation.

Key words: Early Neolithic, Middle Neolithic, stable isotopes, carbon, nitrogen, diet, South of France, Liguria.

Adresse du laboratoire français : Laboratoire d'Anthropologie des Populations du Passé, UMR 5199 PACEA, Université Bordeaux 1, Avenue des Facultés, 33405 Talence cedex.

Adresse du laboratoire allemand : Département d'Évolution Humaine, Institut Max Planck d'Anthropologie Évolutive, Deutscher Platz 6, 04103 Leipzig.