



HAL
open science

L'alimentation du Sud-Est de la France au haut Moyen Âge. Le cas des sujets de Lallemand à Mauguio : un exemple d'application de l'outil isotopique

Leïa Mion, Estelle Herrscher, Jérôme Hernandez, Richard Donat, Liliane Tarrou, Magali Fabre, Vianney Forest

► To cite this version:

Leïa Mion, Estelle Herrscher, Jérôme Hernandez, Richard Donat, Liliane Tarrou, et al.. L'alimentation du Sud-Est de la France au haut Moyen Âge. Le cas des sujets de Lallemand à Mauguio : un exemple d'application de l'outil isotopique. *Archéologie du Midi Médiéval*, 2019, 35, pp.300-311. 10.3406/amime.2017.2161 . halshs-02389149

HAL Id: halshs-02389149

<https://shs.hal.science/halshs-02389149>

Submitted on 16 Dec 2019

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.

L'alimentation du Sud-Est de la France, le cas des sujets de Lallemand à Mauguio : un exemple d'application de l'outil isotopique ¹

Leïa Mion¹, Estelle Herrscher¹, Jérôme Hernandez², Richard Donat³, Liliane Tarrou⁴, Magali Fabre¹, Vianney Forest⁵,

¹ Aix Marseille Univ, CNRS, Minist Culture & Com, LAMPEA, Aix-en-Provence, France

² Inrap Méditerranée, ASM, UMR 5140, Montpellier, France

³ Inrap Méditerranée, AMIS, UMR 5288, Toulouse, France

⁴ Inrap Méditerranée, Nîmes, France

⁵ Inrap Méditerranée, TRACES, UMR5068, Toulouse, France

RESUME

Le collagène contenu dans les os possède une signature isotopique mesurable qui est corrélée entre autres à la nature du régime alimentaire. Les rapports isotopiques de l'azote ($\delta^{15}\text{N}$) et du carbone ($\delta^{13}\text{C}$) des ossements mis au jour lors des fouilles archéologiques renvoient ainsi au type de protéines consommées (végétales, animales, aquatiques) et au type d'environnement dont sont issus les ressources alimentaires (marin/terrestre, plantes en C3 (blé, orge, avoine) / plantes en C4 (millet)). Cet article présente les premiers résultats obtenus dans le cadre d'un projet doctoral effectué au sein de l'Université Aix-Marseille (LAMPEA, UMR 7269). Sont restituées les pratiques alimentaires de 15 sujets issus de la fouille du site de Lallemand à Mauguio (dir. Liliane Tarrou, Inrap). Une mise en perspective des résultats est également effectuée avec une confrontation de ceux livrés par deux sites contemporains du pourtour méditerranéen.

MOTS CLES

Isotopes stables, collagène, régime alimentaire, Sud-Est de la France, Mauguio, Haut Moyen-Âge

¹ Leïa Mion a bénéficié d'une aide financière des Fondations Bonduelle et Nestlé France pour la réalisation de son projet doctoral. Le financement des analyses du site de Lallemand est assuré par l'Inrap Méditerranée. Le financement des analyses du site de Lérins est assuré par le CEPAM tandis que celui des analyses du site de Richeaume XIII est assuré par University of York. Les auteurs tiennent à remercier, pour l'étude des individus de Richeaume XIII : Florence Mocci (CCJ, UMR 7299), Gaëlle Granier (ADES, UMR 7268), Oliver Craig et Matthew von Tersch (University of York), pour l'étude des sujets de Lérins : Yann Codou, Emilie Pérez (CEPAM, UMR 7264) et Isabelle Rodet-Belardi (INRAP Méditerranée, CEPAM, UMR 7264). Enfin les auteurs remercient le lecteur anonyme pour ses remarques et conseils.

TABLE DES FIGURES

Fig. 1 Exemple de distribution des compositions isotopiques en carbone et en azote dans un environnement tempéré de type C3 en Europe occidentale pour l'Antiquité et le Moyen Age (d'après Herrscher *et al.* 2015)

Fig. 2 Localisation géographique des sites de Lallemand, Richeaume XIII et Lérins

Fig. 3 Quantité d'azote et de carbone des échantillons de Lallemand

Fig. 4 Rapports isotopiques du carbone et de l'azote des sujets humains et animaux de Lallemand

Fig. 5 Rapports isotopiques du carbone et de l'azote des sujets humains de Lallemand en fonction a) des secteurs archéologiques, b) du sexe

Fig. 6 Rapports isotopiques du carbone et de l'azote des sujets des sites de Lallemand, Lérins et Richeaume

TABLE DES TABLEAUX

Tabl. 1 Données élémentaires et isotopiques des humains de Lallemand

Tabl. 2 Données bioarchéologiques et isotopiques des espèces animales de Lallemand

Tabl. 3 Résumés des valeurs isotopiques des échantillons de Lallemand

L'alimentation d'un individu est le résultat de contraintes biologiques (« ce qu'il peut digérer »), socio-économiques (« ce qu'il peut se procurer ») et culturelles (« ce qu'il a le droit de consommer ») qui sont représentatives de ses goûts personnels, mais également de la collectivité auxquelles il appartient (Bruegel *et al.* 2002). L'étude des habitudes alimentaires permet donc de reconstituer les relations entre les hommes et leur environnement, mais également d'appréhender l'histoire économique et sociale (Flandrin *et al.* 2008). Pour les périodes historiques, les sources permettant la reconstitution des pratiques alimentaires sont nombreuses et de différentes natures. On peut citer les sources écrites (livres de cuisines, registres de comptes, iconographies) à l'origine d'une abondante bibliographie (voir entre autres Gautier *et al.* 2012), mais qui ne font souvent référence qu'à une frange restreinte de la population. Les archives archéologiques et archéobiologiques, céramiques, ossements animaux et restes végétaux sont eux aussi vecteurs d'informations sur l'alimentation mais de manière indirecte car ils documentent les sources alimentaires disponibles et non leur réelle consommation. L'étude biochimique des ossements humains, témoins directs des populations aujourd'hui disparues, permet de définir de manière directe les ressources réellement consommées au cours de la vie des individus.

Cet article a pour objectif, en sus d'une présentation de la méthodologie des analyses isotopiques pour la reconstitution des pratiques alimentaire, de discuter les premiers résultats obtenus dans le cadre d'un projet doctoral portant sur l'étude de l'alimentation et son évolution dans le Sud-Est de la France entre la fin de l'Antiquité et l'an Mil avec l'exemple des sujets de l'établissement rural du haut Moyen-Âge de Lallemand à Mauguio (34).

I. PRINCIPES METHODOLOGIQUES

Les éléments chimiques constitutifs du squelette, et plus précisément la composition isotopique de ces éléments, peuvent être mesurés. Ceci permet, entre autres, de renseigner l'alimentation des sujets analysés, mais aussi leur mobilité et les environnements dans lesquels ils évoluent. Les problématiques abordables sont fonction de l'élément chimique considéré : par exemple le strontium, l'hydrogène et l'oxygène permettent de définir l'environnement géologique dans lequel ont vécu des sujets (Beard *et al.* 2000 ; Bowen *et al.* 2005), tandis que le fer et le cuivre peuvent permettre de définir le sexe des fossiles (Jaouen *et al.* 2012). Pour ce qui est de l'alimentation, plusieurs éléments sont porteurs d'informations : le soufre (Richards *et al.* 2003), le zinc, le fer, le cuivre (Jaouen *et al.* 2013, 2016), le calcium (Chu *et al.* 2006), le strontium et le plomb (Aberg *et al.* 1998). Pour des

raisons techniques, cependant, les éléments les plus utilisés pour cette question sont le carbone et l'azote (Herrscher *et al.* 2015).

Avant de détailler précisément les informations fournies par l'analyse isotopique de ces deux éléments (C, N), il paraît important de définir le terme isotope, ce que l'on entend par mesure de la composition isotopique d'un élément et de revenir sur le matériel analysé pour reconstituer l'alimentation : l'os.

I.1. Les isotopes stables : définition

Un élément chimique (atome) est constitué de deux types de particules élémentaires rassemblées dans un noyau (les protons chargés positivement et les neutrons) et un nuage extérieur chargé négativement composé d'un seul type de particules négatives, les électrons. Le nombre de protons de son noyau ou numéro atomique Z va définir chaque élément tandis que le nombre d'électrons va définir dans sa majeure partie ses propriétés chimiques. Le nombre de neutrons au sein du noyau peut varier pour un même élément : c'est ce qu'on appelle la variété isotopique. La différence de masse (somme du nombre de neutrons et du nombre de protons) d'un élément entraîne des variations de propriétés chimiques et physiques à la base de la géochimie isotopique (Hoefs 2009).

Les quatre-vingt-douze éléments chimiques connus à ce jour possèdent au moins un isotope (Hoefs 2009). Certains sont stables (leur noyau est immuable au cours du temps) et d'autres instables ou radioactifs, c'est-à-dire que leur noyau subit des altérations spontanées qui entraînent, à une cadence fonction de la demi-vie de ces isotopes, des émissions dites radioactives et une transformation en un autre isotope du même élément ou en un autre élément chimique (c'est le cas du Carbone-14 utilisé en routine en archéologie pour dater les artefacts biologiques). À l'état naturel, ce sont les isotopes stables qui dominent en nombre. Pour les éléments chimiques légers (dont la masse atomique est inférieure à celle du fer), un de ces isotopes stables aura une abondance très supérieure à celle des autres isotopes (Hoefs 2009).

Le rapport entre les deux isotopes étudiés d'un élément s'exprime en fonction de la variation d'un standard international, car l'amplitude de variation naturelle de ces rapports est généralement très faible (Hoefs 2009). La notation δ est utilisée pour exprimer les teneurs isotopiques mesurées : $\delta^E X (\text{‰}) = (R \text{ échantillon} / R \text{ standard} - 1) \times 1000$

X désigne l'élément chimique étudié (dans notre cas C ou N), E la masse de l'isotope le plus lourd et donc le plus rare (respectivement 13 ou 15) et R le rapport entre les deux isotopes stables les plus abondants ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$). Les standards internationaux utilisés pour les différents isotopes étudiés dans cette étude sont le V-PDB (« Vienna Pee Dee Belemnite ») (Coplen *et al.* 2006) pour le rapport isotopique du carbone et l'azote atmosphérique pour le rapport de l'azote (Mariotti 1983). Pratiquement, les échantillons sont également évalués à partir de standards internes propres à chaque laboratoire, calibrés sur des standards internationaux (Hoefs, 2009).

I.2. Les tissus osseux

L'os est composé d'une matrice minérale structurante (60-70 % du poids), d'une matrice organique (20-30 % du poids) et d'eau (10 % du poids) (Dauphin 2015). Ce sont les molécules de collagène qui constituent l'essentiel de la phase organique des os. Ces molécules se réunissent pour former des matrices de longues fibres flexibles (Dauphin 2015). Bien que le collagène se dégrade *post-mortem*, il reste le support de choix des études isotopiques, car il est possible d'en estimer la préservation. Autour de la matrice organique des os prend place la phase minérale qui va donner sa structure à l'os. Il s'agit majoritairement de cristaux d'hydroxyapatite (ou apatite). Ce minéral est une forme de phosphate de calcium de formule $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ (Dauphin 2015). Il se trouve dans les os sous la forme de cristaux hexagonaux.

La formation de l'os commence lors du développement intra-utérin et se prolonge tout au long de l'enfance. Elle s'effectue à partir de noyaux cartilagineux, foyers des cellules ostéoblastes responsables de la création des tissus osseux. Dans un premier temps, ces noyaux sont situés uniquement dans la diaphyse et permettent aux os de s'épaissir puis dans un second temps, des noyaux secondaires se développent aux niveaux des épiphyses des os longs pour leur permettre de s'allonger (Dauphin 2015). Une fois la croissance terminée et les épiphyses soudées, ces noyaux secondaires cessent leur activité. Les noyaux diaphysaires restent cependant actifs. L'action des ostéoblastes de ces noyaux est équilibrée par celle des ostéoclastes qui sont responsables de la résorption du tissu osseux. L'action simultanée de ces deux entités biologiques entraîne un renouvellement permanent de la composition des os (Dauphin 2015). La vitesse à laquelle s'effectue ce renouvellement est fonction de plusieurs facteurs : l'âge (Hedges *et al.* 2007a ; Wild *et al.* 2000), le sexe (Hedges *et al.* 2007a), l'état sanitaire (Ambrose 2000), mais aussi la région anatomique (Herrscher 2003). La période exacte de la vie de l'individu correspondante aux rapports isotopiques enregistrés dans les

tissus osseux est donc inconnue. On considère cependant que ces rapports sont généralement le reflet de la moyenne de l'alimentation des dix dernières années pour des individus adultes (Hedges *et al.* 2007a).

I.3. Les abondances isotopiques

I.3.1. L'azote

L'azote est assimilé par les vertébrés par le biais de l'alimentation. Ce sont donc les végétaux, à la base des chaînes trophiques qui conditionnent les différents rapports isotopiques de l'azote que l'on retrouve tout au long de la chaîne alimentaire. Les végétaux intègrent l'azote selon deux processus. Les plantes légumineuses (fabacées) tirent l'azote nécessaire à leur métabolisme du diazote atmosphérique (N₂) grâce à des bactéries du genre *Rhizobium* avec lesquelles elles entretiennent une relation symbiotique (Deniro *et al.* 1981 ; Szpak *et al.* 2014). Ces végétaux présentent des teneurs isotopiques en azote proches de celle du N₂, de l'ordre de 1 ‰ (Schoeninger *et al.* 1984). Les autres plantes tirent leur azote des nitrates (organiques et non organiques) présents dans le sol. De manière générale, les plantes non fixatrices d'azote ont des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ de 3 ‰ en moyenne (Bocherens *et al.* 2002). Les conditions environnementales et les caractéristiques chimiques du sol peuvent également influencer sur ces valeurs. L'aridité a ainsi tendance à entraîner un enrichissement en azote-15 (Ambrose 1991), tout comme certaines pratiques agricoles (engrais) (Bogaard *et al.* 2007 ; Fraser *et al.* 2011). Les végétaux marins non fixateurs d'azote ont tendance à présenter des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ de l'ordre de 7 ‰, c'est-à-dire supérieures à celles des végétaux terrestres du fait des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ des nitrates dissous plus élevées (Schoeninger *et al.* 1984).

L'intégration de l'azote « alimentaire » dans l'organisme des animaux et des humains entraîne un fractionnement isotopique. Pour le collagène, ce fractionnement se fait en faveur de l'azote 15. Le rapport isotopique de l'azote dosé dans le collagène est donc enrichi en isotope lourd (¹⁵N) par rapport à l'alimentation. La valeur de cet enrichissement est généralement considérée comme de l'ordre de +3-4 ‰ entre l'alimentation et le collagène du consommateur (Deniro *et al.* 1981 ; Minagawa *et al.* 1984) même si la variabilité naturelle observée est comprise entre 1 et 7 ‰ (O'Connell *et al.* 2012). Concrètement, au sein d'un même écosystème, plus un sujet se trouve haut dans la chaîne alimentaire (*i.e.* plus il est carnivore), plus sa valeur de $\delta^{15}\text{N}$ est élevée. En milieu aquatique, les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ des acteurs sont en moyenne plus élevées qu'en milieu terrestre (fig. 1). En effet, aux valeurs

isotopiques des producteurs primaires (végétaux) plus élevées, s'ajoute la longueur des chaînes trophiques généralement plus importantes.

Les différences physiologiques entre les acteurs d'une chaîne trophique vont aussi influencer sur les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$: les ruminants ont ainsi en moyenne une signature isotopique plus élevée que les non-ruminants (Sponheimer *et al.* 2003). Les tissus des individus allaités (Fogel *et al.* 1989 ; Herrscher 2013), des sujets en stress hormonal (Fuller *et al.* 2004), pathologique (Katzenberg *et al.* 1999a) ou nutritionnel (Fuller *et al.* 2005 ; Mekota *et al.* 2006) peuvent avoir des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ qui ne reflètent plus les relations trophiques des écosystèmes dans lesquels ces individus évoluent, mais leur état physiologique.

I.3.2. Le carbone

Le carbone provient essentiellement de l'alimentation. Ce sont donc à nouveau les végétaux dont dépendent les différences dans les rapports isotopiques de l'ensemble des autres espèces vivantes. Ceux-ci intègrent le carbone au cours de la photosynthèse selon trois processus. Les arbres et la majorité des plantes de climat tempéré et froid (céréales, légumes...) suivent le processus photosynthétique de type C3 ou cycle de Calvin, ils ont des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ se situant entre - 36,0 et - 22,0 ‰ avec une moyenne à - 27,0 ‰ (Deines 1980). C'est ce processus que suivent également la grande majorité des végétaux aquatiques (DeNiro *et al.* 1978 ; Smith *et al.* 1971). Les plantes herbacées des environnements tempérés tout comme celles des milieux tropicaux ou subtropicaux, chauds et secs (maïs, canne à sucre, sorgho, millet...) suivent le processus photosynthétique de type C4 ou cycle de Hatch et Slack. Leurs valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ se situent entre - 19,0 et - 6,0 ‰ avec une moyenne de - 12,5 ‰ (Deines 1980). Le dernier type de photosynthèse, le type CAM pour Crassulacean Acid Metabolism, ne concerne que des plantes succulentes de milieu désertique. Les conditions environnementales sont également déterminantes pour les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ des végétaux. La source de carbone inorganique tout d'abord, les végétaux terrestres utilisent le CO_2 atmosphérique ($\delta^{13}\text{C} \approx - 6,5$ ‰ avant 1850, Deniro 1985a) et les plantes aquatiques marines principalement, le bicarbonate dissous ($\delta^{13}\text{C} \approx 0$ ‰, Farquhar *et al.* 1989 ; Smith *et al.* 1971). Ces dernières ont donc des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ plus élevées. Ensuite, en milieu terrestre, un « effet canopée » est observable qui entraîne des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ significativement plus basses (entre 2 et 5 ‰) des végétaux des milieux fermés (forêts, sous-bois) par rapport à leurs homologues des milieux ouverts (prairie) (Farquhar *et al.* 1989 ; Heaton 1999). De la même manière, les plantes des milieux fluviaux ou lacustres, ont comme source principale de

carbone des résidus organiques décomposés aux valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ basses (Dufour *et al.* 1999). Enfin, l'aridité, la salinité des sols et les stress physiologiques peuvent entraîner des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ plus élevées (Tieszen 1991).

Lors de l'intégration du carbone alimentaire dans le collagène d'un consommateur, un fractionnement a lieu, entraînant un enrichissement d'environ 5 ‰ dont l'importance varie en fonction de la qualité du régime alimentaire (quantité de protéines) et des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ des différentes parts de l'alimentation (glucides, lipides et protéines) (Ambrose *et al.* 1993 ; Fernandes *et al.* 2012 ; Froehle *et al.* 2010). La variation des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ du collagène entre deux niveaux trophiques consécutifs d'une même chaîne est d'environ 1 ‰ (fig. 1 ; Bocherens *et al.* 2003).

I.4. Extraction et analyse

L'extraction du collagène s'effectue sur une poudre d'os (Bocherens *et al.* 1991 ; Longin 1971) : un fragment d'os compact (~1g) est prélevé, nettoyé par abrasion grâce à une sableuse et réduit en poudre de granulométrie inférieure à 0,7 mm à l'aide d'un mortier en agate.

Les échantillons d'environ 250 mg sont placés dans un bain d'acide chlorhydrique (HCl, 1M) pendant 20 minutes afin d'éliminer la partie minérale des os et les carbonates diagenétiques puis, après filtration, dans une solution de soude (NaOH, 0.125M) pendant 18h pour éliminer les lipides et les contaminants humiques. Après une nouvelle filtration, le collagène est solubilisé dans une solution d'HCl (0.01M) pendant 17h à 100°C. Après une dernière filtration, les échantillons sont lyophilisés afin d'obtenir du collagène solide. Ces collagènes sont pesés à l'aide d'une microbalance dans des capsules en étain (0,9-1,1 mg) qui seront introduites dans un spectromètre de masse isotopique couplé à un analyseur élémentaire (IRMS-EA Europa Scientific 20-20, IsoAnalytical Limited, UK). Cet équipement permet d'obtenir simultanément les teneurs élémentaires en carbone et en azote (%C, %N) et les teneurs isotopiques en carbone et en azote ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) du collagène. Le standard interne utilisé est de la poudre de foie de bœuf (IA-R042). La précision analytique est obtenue à partir de l'analyse répétée des standards internes du laboratoire. Dans le cadre de cette étude, le calcul indique une précision de 0,06 ‰ pour les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ et de 0,1 ‰ pour celles de $\delta^{15}\text{N}$.

Pour s'assurer de l'intégrité biochimique du collagène, des indicateurs ont été développés. Il s'agit du rendement d'extraction du collagène qui s'exprime en mg/g. Il doit être supérieur à

10 mg/g (Ambrose 1990, 1993 ; van Klinken 1999). Les quantités de carbone et d'azote présentes dans chaque échantillon, mesurées par l'analyse élémentaire et exprimées en pourcentage (%C, %N) doivent être supérieures à 30 % pour le carbone et supérieures à 10 % pour l'azote (Ambrose 1990, 1993 ; van Klinken 1999). Enfin, le calcul du rapport C/N ou rapport atomique du carbone sur l'azote des échantillons est lui aussi déterminant. Ce rapport doit être compris entre 2,9 et 3,6 pour que le collagène soit considéré à la fois non dégradé (ou mal préservé inférieur à 2,9) et non contaminé (supérieur à 3,6) (DeNiro 1985b).

II APPLICATION DES OUTILS POUR LA DEFINITION DE L'ALIMENTATION

II.1. Matériel

Les échantillons de notre étude sont issus de la fouille Inrap du site de Lallemand à Mauguio (34) réalisée en 2013 et situé en plaine à 2-3 km des étangs lagunaires de la côte méditerranéenne et dirigée par Liliane Tarrou (fig. 2, Tarrou 2017). Il s'agit d'un établissement rural alto-médiéval, sur lequel des aires funéraires ont été fréquentées entre la fin du VIII^e siècle et la fin du X^e siècle. A été également retrouvée une importante aire d'ensilage. Les sépultures ont été découvertes au nord et au sud de l'établissement, ainsi que le long du parcellaire au centre du site. Elles datent, pour la plupart, de la première phase d'occupation du site, antérieure au X^e siècle. Les inhumations de la zone centrale sont plus tardives (X^e siècle).

Les sujets humains analysés sont au nombre de 15. Pour chacun d'entre eux, une phalange de main ou de pied (ou un fragment de métatarse dans un cas) a été échantillonnée sous la direction de Richard Donat qui a également réalisé l'étude anthropologique et donc la détermination des caractéristiques biologiques de chaque individu (tabl. 1). L'échantillon comprend les sept adultes dont la conservation du matériel osseux a permis de déterminer le sexe et huit autres adultes dont le sexe et/ou l'âge au décès sont indéterminés. Ces individus ont été choisis afin que l'ensemble des aires funéraires soient équitablement représentées. Les animaux analysés sont issus d'unités stratigraphiques (US) contemporaines aux secteurs funéraires (tabl. 2). L'échantillonnage a été effectué par Magali Fabre et Vianney Forest qui ont sélectionné et identifié chacune des pièces osseuses analysées. Il s'agit de 3 spécimens de bovins, 3 spécimens d'ovins, 3 spécimens d'équidés, 3 spécimens de poules et 3 spécimens de porcs. Au sein de chaque espèce, chaque spécimen provient d'une unité stratigraphique différente.

II.2. Conservation du collagène

Sur les 30 échantillons osseux préparés suivant la méthode précédemment décrite, tous ont permis de recueillir du collagène. Un échantillon d'équidé présente cependant un rendement inférieur à celui préconisé par la littérature (tabl. 2). Cet échantillon n'a donc pas fait l'objet d'une analyse spectrométrique. Sur les 29 échantillons analysés, un échantillon d'équidé a des valeurs de quantité de carbone et de d'azote incompatibles avec un collagène non dégradé ou contaminé (fig. 3, tabl. 2). Les valeurs isotopiques de cet échantillon ne sont donc pas exploitables. L'analyse de l'alimentation à Lallemand concerne donc 28 échantillons correspondant à 15 sujets humains, 3 spécimens de bovins, 3 spécimens d'ovins, 1 spécimen d'équidé, 3 spécimens de poules et 3 spécimens de porcs (fig. 3-4, tabl. 1-2).

II.3. Résultats

Cinq éléments ressortent de l'observation des valeurs isotopiques des échantillons analysés (résumée dans le tableau 3) :

- Les porcs ont des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ comme de $\delta^{15}\text{N}$ statistiquement identiques à celles des herbivores (bovins, ovins, équidé, $n = 7$) alors que les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ des spécimens de poules sont statistiquement différentes de celles des spécimens identifiés comme herbivores (tabl. 3, fig. 4, tests de Kruskal-Wallis à 1000 répliques)
- Deux sujets humains ont des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ qui sortent de la variabilité décrite par l'ensemble de la série : MAUG_H05 (-18,3 ‰) et MAUG_H09 (-19,7 ‰). Un sujet humain a une valeur de $\delta^{15}\text{N}$ remarquable : MAUG_H04 (8,4 ‰) (fig. 4, 5).
- L'enrichissement médian en ^{13}C entre les animaux et les humains est de 1,1 ‰. L'enrichissement moyen en ^{15}N entre les animaux et les humains est de 3,1 ‰ (tabl. 3, fig. 4).
- Les tests statistiques (Wilcoxon à 1000 répliques) ne montrent aucune différence significative entre les sujets des deux sexes (tabl. 3, fig. 5).
- Les tests statistiques ne montrent aucune différence significative entre les trois moyennes des trois aires funéraires (tests de Kruskal-Wallis à 1000 répliques). On notera que les quatre sujets de la zone Sud ont des valeurs isotopiques dont la variabilité est supérieure à celles des sujets du groupe Centre et du groupe Nord (tabl. 3, fig. 5).

II.4. Discussion

II.4.1. Évaluation des pratiques alimentaires à Lallemand

a) Les animaux

Les valeurs isotopiques observées de $\delta^{13}\text{C}$ correspondent à un environnement tempéré ouvert dominé par les végétaux à photosynthèse de type C_3 (Schoeninger *et al.* 1984, Bocherens *et al.* 2007). Les résultats de $\delta^{15}\text{N}$ s'accordent avec des valeurs de spécimens de milieu tempéré (Schoeninger *et al.* 1984).

Les valeurs isotopiques des spécimens de porcs semblables à celles des herbivores indiquent une alimentation de type végétarienne cohérente avec les pratiques d'élevage documentée pour la période médiévale (Audoin-Rouzeau 1998). L'enrichissement des valeurs isotopiques des spécimens de poules par rapport à celles des autres espèces domestiques est de l'ordre du niveau trophique. Cela suggère une relation de consommé-consommateur, peut-être sous la forme d'une utilisation des restes de cuisine ou de lait de vaches, brebis ou chèvre pour l'alimentation des poules en complément de leur régime alimentaire habituel (Périquet 2011).

b) Les humains

Si l'on fait abstraction des trois individus MAUG_H05, MAUG_H09 et MAUG_H04, la variation des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ peut être considérée comme faible tout comme celle des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$. L'accès aux ressources alimentaires paraît donc peu diversifié entre les individus et pourrait suggérer une certaine homogénéité des pratiques alimentaires au sein de cette population (Herrscher, 2003). L'enrichissement moyen en ^{13}C et en ^{15}N entre les animaux et les sujets échantillonnés à Lallemand est typique de celui attendu pour un régime alimentaire principalement fondé sur les protéines terrestres issues d'un environnement dominé par les plantes C_3 (céréales, Hedges *et al.* 2007b). Les ressources aquatiques qu'elles soient d'eau douce ou marines, ne semblent donc pas avoir été une composante régulière du régime alimentaire des sujets échantillonnés.

Le sexe des individus ne permet pas de mettre en évidence un schéma de variation des valeurs isotopiques, ce critère ne semble donc pas à l'origine d'un accès différentiel aux ressources alimentaires. De la même manière, aucun schéma de variation lié aux aires funéraires auxquelles appartiennent les sujets ne se distinguent tant pour les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ que pour celles de $\delta^{15}\text{N}$. Cependant les quatre sujets de l'aire Sud ont des valeurs isotopiques plus variables que celles des autres zones. Cela suppose que ces individus malgré leur inhumation dans une même zone n'ont pas eu accès aux mêmes ressources alimentaires, suggérant une variabilité plus importante de leur alimentation.

En ce qui concerne les trois individus aux valeurs extrêmes, plusieurs interprétations sont possibles. MAUG_H04 est une femme de la zone sud qui présente une valeur de $\delta^{15}\text{N}$ relativement basse (8,4 ‰), alors que sa valeur de $\delta^{13}\text{C}$ ne se distingue pas de celles des autres sujets (-19,2 ‰). De telles valeurs peuvent s'expliquer : (1) par une alimentation comprenant moins de protéines animales que le reste des sujets analysés ; (2) par la physiologie (la grossesse est par exemple connue pour entraîner une baisse du signal isotopique de l'azote, Fuller *et al.*, 2004) ; (3) un environnement différent pour les ressources alimentaires consommées qui pourrait suggérer une mobilité survenant peu de temps avant la mort. MAUG_H05 (Homme, zone sud) présente une valeur de $\delta^{13}\text{C}$ relativement haute (-18,3 ‰) associée à une valeur de $\delta^{15}\text{N}$ (9,6 ‰) dans la moyenne. D'après la bibliographie (Craig *et al.*, 2009 ; Keenleyside *et al.*, 2009), certaines ressources marines, comme les coquillages, les crustacés ou encore les poissons de bord de mer (Herrscher *et al.* 2018) possèdent un niveau trophique peu élevé pouvant entraîner une association similaire à celle observée pour MAUG_H05. Au vu des données ichtyologiques ne révélant pas la présence de telles ressources, et du renouvellement lent de la matrice osseuse, l'hypothèse la plus probable serait une mobilité intervenant peu de temps avant la mort. MAUG_H09 (sexe indéterminé, zone Nord) se démarque par sa valeur en $\delta^{13}\text{C}$ relativement faible (-19,7 ‰) associée à une valeur de $\delta^{15}\text{N}$ non distincte de celles des autres (10,4 ‰). D'après la bibliographie (Dufour *et al.*, 1999), ces résultats pourraient refléter une consommation préférentielle de ressources d'eau douce dont les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ peuvent être plus faibles que celles des ressources terrestres de la même zone géographique. Cependant, cette tendance n'est pas vérifiée dans toutes les zones géographiques (Katzenberg *et al.* 1999b). Une mobilité intervenant peu de temps avant la mort pourrait également être proposée compte tenu des résultats isotopiques de ce sujet.

II.4.2. Pratiques alimentaires régionales : premier essai d'interprétation

Afin d'évaluer les éventuelles spécificités alimentaires des sujets de Lallemand, des données préliminaires acquises lors d'un projet de recherche doctorale portant sur l'évolution de l'alimentation dans le sud-est de la France entre la fin de l'Antiquité et l'an Mil ont également été considérées². Elles sont issues de l'étude de deux sites de l'est du Rhône : Richeaume XIII, localisé au pied du massif de la Sainte Victoire sur une terrasse caillouteuse à l'aplomb du ruisseau de la Naïsse à Puyloubier (dir. F. Mocci) et la chapelle Saint-Sauveur sur l'île Saint Honorat de Lérins au large de Cannes (dir. Y. Codou) (fig. 2).

² Données non publiées

Le site de Richeaume XIII, nécropole domaniale en lien avec l'établissement rural du site de Richeaume I (Mocci 2014 ; Walsh *et al.* 2003) a livré les restes de 6 sujets humains adultes inhumés dans des sépultures individuelles. La datation de ces sépultures est comprise entre le V^e et le VIII^e siècle. La faune analysée (n = 16) est issue des fouilles du site de la villa de Richeaume I. La chapelle Saint-Sauveur est en lien avec l'installation monastique sur l'île depuis la seconde moitié du V^e siècle jusqu'à nos jours. Les 7 sujets humains analysés ont été exhumés dans la chapelle, ils correspondent à un état daté entre la fin du V^e siècle et le début du VIII^e siècle (Bailet *et al.* 2014). L'étude anthropologique a permis de mettre en évidence que tous ces sujets sont des hommes et ont un âge au décès avancé (Bailet *et al.* 2014). La faune analysée (n = 17) est issue de la fouille des abords de la chapelle.

a) Variabilité isotopique des environnements locaux

Les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ des spécimens de faune de Lallemand considérés tous ensemble, ont été comparées à celles des deux sites de comparaison (fig. 6) : Lérins (n = 17, médiane = -20,4 ‰) et Richeaume (n = 16, médiane = -20,6 ‰). Les tests statistiques permettent de mettre en évidence une différence significative entre les séries des sites de Lallemand et Richeaume XIII, la faune de Lallemand présentant les valeurs isotopiques les plus hautes (test de Kruskal-Wallis à 1000 répliques). Ces résultats suggèrent des caractéristiques environnementales isotopiquement perceptibles et significativement différentes entre les deux rives du Rhône. Des pratiques d'élevages distinctes notamment en ce qui concerne l'alimentation pourraient également expliquer ces résultats.

b) Schémas alimentaires humains

La confrontation des enrichissements isotopiques entre les faunes respectives et les sujets de Richeaume XIII, Lérins et Lallemand permet de distinguer un schéma alimentaire qui semble particulier pour les sujets de Lallemand. En effet, à Lallemand, au regard de ces données, les ressources aquatiques et à plus forte raison marines, ne contribuent pas de manière perceptible à l'alimentation. Les valeurs des sujets des deux autres sites de comparaison documentent, quant à elles, des enrichissements supérieurs à ceux attendus dans le cas d'une relation simple consommé-consommateur, cohérents avec une consommation non négligeable de ressources marines. Ce schéma de consommation semble transcender deux facteurs archéologiques normalement mis en avant pour la consommation de ce type de ressources : (1) le type d'occupation, Lallemand comme Richeaume XIII sont des sites d'habitat alors que les sujets de Lérins sont des individus issus d'une communauté monastique, et (2) la distance à la mer.

En effet, si Lallemand et Lérins sont des sites côtiers et auraient donc pu expliquer une alimentation intégrant une part significative de ressources marines, ces deux séries se distinguent du point de vue de leur alimentation. Le statut monastique de Lérins est probablement le facteur déterminant dans le fait qu'un choix ait été réalisé par les sujets de Lérins pour des produits alimentaires d'origine marine. D'un autre côté, il est particulièrement intéressant de noter qu'à Richeaume XIII, bien que le site se trouve à plus de 50 km de la mer au pied du massif de la Sainte-Victoire, les enrichissements en isotopes lourds suggèreraient également une consommation de ressources marines. Les résultats obtenus ici montrent que si l'environnement de proximité est bien souvent considéré comme le facteur majeur en rapport avec les choix opérés sur les ressources alimentaires à disposition, il ne se vérifie pas systématiquement. Les sujets de Lallemand à proximité de la mer ont vraisemblablement privilégié des ressources terrestres. S'agit-il d'un choix économique, ou l'expression d'un comportement de subsistance particulier pour ce site ?

III. CONCLUSIONS

Même si les résultats présentés ici restent préliminaires, l'étude isotopique des sujets de Lallemand et des spécimens de faune qui leur sont associés constitue un bon exemple des différentes échelles d'interprétation abordables par ce type d'analyses.

À l'échelle individuelle, les valeurs isotopiques ont permis de montrer que le sexe n'était pas un facteur à l'origine d'une alimentation différente, tout du moins visible isotopiquement dans les tissus de consommateurs. En revanche, des schémas alimentaires identifiables au sein de la population semblent liés à des critères archéologiques, notamment la zone d'inhumations, indiquant pour les sujets de la zone sud une diversité alimentaire plus importante. Ce schéma est-il en relation avec un facteur social ou culturel ou bien une origine géographique différente des individus survenue dans les 10 dernières années de leur vie ? Des études complémentaires basées sur une approche intra-individuelle permettraient d'approcher plus précisément les modifications alimentaires au cours de la vie des individus. Par ailleurs, l'originalité des valeurs isotopiques de trois individus de Lallemand (H04, H05 et H09) a permis de supposer une mobilité survenue peu de temps avant leur décès.

À l'échelle de la population, qu'elle soit animale ou humaine, il a été possible de proposer des pratiques d'élevage vraisemblablement différentes selon les espèces, avec par exemple les poules nourries de rejets de cuisine à la différence des porcs manifestement laissés en pâture dans la campagne environnante.

À l'échelle de la région, Lallemand semble se distinguer des deux sites choisis à titre de comparaison, que ce soit en termes d'environnement ou de pratiques alimentaires. Si au vu des restes d'ichtyofaunes, la consommation de ressources dulçaquicoles ne semble pas anodine pour les sujets de Lallemand, il est intéressant de noter l'absence totale de restes osseux documentant une consommation de ressources marine sur un site localisé à moins de 5 km de la mer. Ce schéma alimentaire est différent de celui observé sur les deux sites de Lérins et Richeaume pour lesquelles une consommation plus régulière de ressources marines peut-être supposée. Par conséquent, se pose la question de l'identification du facteur culturel, social ou économique sous-jacent expliquant cette absence de consommation de ressources marines, la distance à la mer n'étant manifestement pas un facteur décisif.

Pour affiner l'interprétation, ces résultats préliminaires restent à étoffer notamment (1) en considérant plus de sites contemporains des deux rives du Rhône pour confirmer ou non les tendances observées à l'échelle régionale et (2) en intégrant des données archéologiques et historiques plus complètes à l'échelle des sites et de la région.

Ces résultats, bien qu'obtenus sur un échantillon numériquement faible (<20), illustrent tout à fait les nouvelles connaissances paléoalimentaires accessibles dans les études bioarchéologiques grâce aux analyses isotopiques sur le collagène osseux. Ils démontrent que les analyses isotopiques permettent des réflexions sur les rapports de l'homme à son environnement, tout en permettant de discuter la chronologie et les facteurs sociaux contribuant à la constitution d'un groupe funéraire.

BIBLIOGRAPHIE

Aberg et al. 1998 : ABERG (G.), FOSSE (G.), STRAY (H.), Man, nutrition and mobility: a comparison of teeth and bone from the Medieval era and the present from Pb and Sr isotopes, *Science of the total environment*, vol. 224, n°1, 1998, p. 109–119.

Ambrose 1990 : AMBROSE (S. H.), Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis, *Journal of Archaeological Science*, vol. 17, n°4, 1990, p. 431- 451.

Ambrose 1991 : AMBROSE (S. H.), Effects of diet, climate and physiology on nitrogen isotope abundances in terrestrial food webs, *Journal of Archaeological Science*, vol. 18, n°3, 1991, p. 293- 317.

Ambrose 1993 : AMBROSE (S. H.), Isotopic analysis of paleodiet: methodological and interpretive considerations, in : SANDFORD (M. K.), éd., *Investigations of Ancient Human Tissue: chemical analyses in anthropology*, Gordon and Breach Science Publishers, Langhorne, 1993, p. 59- 130.

Ambrose 1993 : AMBROSE (S. H.), Controlled diet and climate experiments on nitrogen isotope ratios of rats, in : AMBROSE (S. H.), KATZENBERG (M. A.), éd., *Biogeochemical approaches to palaeodietary analysis*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 2000, p. 243- 259.

Ambrose et al. 1993 : AMBROSE (S. H.), NORR (L.), Experimental evidence for the relationship of the carbon isotope ratios of whole diet and dietary protein to those of bone collagen and carbonate, in : LAMBERT (P. D. J. B.), GRUPE (P. D. G.), éd., *Prehistoric Human Bone*, Springer, 1993, p. 1- 37.

Audoin-Rouzeau 1998 : AUDOIN-ROUZEAU (F.), Cheptel antique, cheptel médiéval : mutations ou innovations ?, *Actes des congrès de la Société d'archéologie médiévale*, vol. 6, n°1, 1998, p. 30- 34.

Bailet et al. 2014 : BAILET (P.), PEREZ (E.), Rapport anthropobiologique, in : CODOU (Y.), dir, *Chapelle Saint-Sauveur (PACA, Alpes Maritimes, Cannes, Ile Saint-Honorat, Lérins)*, Rapport final d'opération programmée, CEPAM, 2014, p. 189- 235.

Beard et al. 2000 : BEARD (B. L.), JOHNSON (C. M.), Strontium isotope composition of skeletal material can determine the birth place and geographic mobility of humans and animals, *Journal of Forensic Science*, vol. 45, n°5, 2000, p. 1049–1061.

Bocherens et al. 2003 : BOCHERENS (H.), DRUCKER (D.), Trophic level isotopic enrichment of carbon and nitrogen in bone collagen: case studies from recent and ancient terrestrial ecosystems, *International Journal of Osteoarchaeology*, vol. 13, n°1- 2, 2003, p. 46–53.

Bocherens et al. 1991 : BOCHERENS (H.), FIZET (M.), MARIOTTI (A.), LANGE-BADRE (B.), VANDERMEERSCH (B.), BOREL (J. P.), BELLON (G.), Isotopic biogeochemistry (^{13}C , ^{15}N) of fossil vertebrate collagen: application to the study of a past food web including Neandertal man, *Journal of Human Evolution*, vol. 20, n°6, 1991, p. 481- 492.

Bocherens et al. 2002 : BOCHERENS (H.), MARIOTTI, (A.), Paléoenvironnements et paléoalimentations : biogéochimie isotopique des vertébrés, *in* : MISKOWSKY (J. L.), éd., *Géologie de la Préhistoire : méthodes, techniques, applications*, Céspré/Presses universitaires de Perpignan, 2002, p. 1323- 1344.

Bocherens et al. 2007 : BOCHERENS (H.), POLET (C.), TOUSSAINT (M.), Paleodiet of Mesolithic and Neolithic populations of Meuse Basin (Belgium): evidence from stable isotopes, *Journal of Archaeological Science*, vol. 34, n°1, 2007, p. 10- 27.

Boogard et al. 2007 : BOGAARD (A.), HEATON (T. H. E.), POULTON (P.), MERBACH (I.), The impact of manuring on nitrogen isotope ratios in cereals: archaeological implications for reconstruction of diet and crop management practices, *Journal of Archaeological Science*, vol. 34, n°3, 2007, p. 335- 343.

Bowen et al. 200 : BOWEN (G. J.), WASSENAAR (L. I.), HOBSON (K. A.), Global application of stable hydrogen and oxygen isotopes to wildlife forensics, *Oecologia*, vol. 143, n°3, 2005, p. 337- 348.

Bruegel et al. 2002 : BRUEGEL (M.), LAURIOUX (B.), Introduction - Histoire et identités alimentaires en Europe, *in* : BRUEGEL (M.), LAURIOUX (B.), éd., *Histoire et identités alimentaires en Europe*, Hachette, 2002, p. 9- 20.

Chu et al. 2006 : CHU (N.-C.), HENDERSON (G. M.), BELSHAW (N. S.), HEDGES (R. E.), Establishing the potential of Ca isotopes as proxy for consumption of dairy products, *Applied geochemistry*, vol. 21, n°10, 2006, p. 1656–1667.

Coplen et al. 2006 : COPLEN (T. B.), BRAND (W. A.), GEHRE (M.), GRÖNING (M.), MEIJER (H. A. J.), TOMAN (B.) VERKOUTEREN (R. M.), New Guidelines for $\delta^{13}\text{C}$ Measurements, *Analytical Chemistry*, vol. 78, n°7, 2006, p. 2439- 2441.

Craig et al. 2009 : CRAIG (O. E.), BIAZZO (M.), O'CONNELL (T. C.), GARNSEY (P.), MARTINEZ-LABARGA (C.), LELLI (R.), BONDIOLI, (L.), Stable isotopic evidence for diet at the Imperial Roman coastal site of Velia (1st and 2nd Centuries AD) in Southern Italy, *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 139, n°4, 2009, p. 572–583.

Dauphin 2015 : DAUPHIN (Y.), Os et dents, *in* : BALASSE (M.), BRUGAL (J.-P), DAUPHIN (Y.), GEIGL (E.-M.), OBERLIN (C.), REICHE (I.), éd., *Messages d'Os Archéométrie du squelette animal et humain*, Éditions des archives contemporaines, 2015, p. 5- 21.

Deines 1980 : DEINES (P.), (1980), The isotopic composition of reduced organic carbon, *in* : FRITZ (P.), FONTES (J.-C.), éd., *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*, Elsevier Publishing Company, 1980, p. 329- 406.

DeNiro 1985a : DENIRO (M. J.), Stable isotopy and archaeology, *American Scientist*, vol. 75, n°2, 1985, p. 182- 191.

DeNiro 1985b : DENIRO (M. J.), Post-mortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction, *Nature*, vol. 317, n°6040, 1985, p. 806- 809.

DeNiro et al. 1978 : DENIRO (M. J.), EPSTEIN (S.), Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 42, n°5, 1978, p. 495- 506.

DeNiro et al. 1981 : DENIRO (M. J.), EPSTEIN (S.), Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 45, n°3, 1981, p. 341- 351.

Dufour et al. 1999 : DUFOUR (E.), BOCHERENS (H.), MARIOTTI (A.), Palaeodietary implications of isotopic variability in Eurasian lacustrine fish, *Journal of Archaeological Science*, vol. 26, n°6, 1999, p. 617- 627.

Farquhar et al. 1989 : FARQUHAR (G. D.), EHLERINGER (J. R.), HUBICK (K. T.), Carbon isotope discrimination and photosynthesis, *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, vol. 40, n°1, 1989, p. 503- 537.

Fernandes et al. 2012 : FERNANDES (R.), NADEAU (M.-J.), GROOTES (P. M.), Macronutrient-based model for dietary carbon routing in bone collagen and bioapatite, *Archaeological and Anthropological Sciences*, vol. 4, n°4, 2012, p. 291- 301.

Flandrin et al. 2008 : FLANDRIN (J.-L.), MONTANARI (M.), *Histoire de l'alimentation*, Fayard, 2008, 926 p.

Fogel et al. 1989 : FOGEL (M. L.), TUROSS (N.), OWSLEY (D. W.), Nitrogen isotope tracers of human lactation in modern and archaeological populations, *Carnegie Institution of Washington Yearbook*, 1989, p. 111–117.

Fraser et al. 2011 : FRASER (R. A.), BOGAARD (A.), HEATON (T.), CHARLES (M.), JONES (G.), CHRISTENSEN (B. T.), STYRING (A. K.), Manuring and stable nitrogen isotope ratios in cereals and pulses: towards a new archaeobotanical approach to the inference of land use and dietary practices, *Journal of Archaeological Science*, vol. 38, n°10, 2011, p. 2790- 2804.

Froehle et al. 2010 : FROEHLE (A. W.), KELLNER (C. M.), SCHOENINGER (M. J.), FOCUS: effect of diet and protein source on carbon stable isotope ratios in collagen: follow up to, *Journal of Archaeological Science*, vol. 37, n°10, 2010, p. 2662- 2670.

Fuller et al 2004 : FULLER (B. T.), FULLER (J. L.), SAGE (N. E.), HARRIS (D. A.), O'CONNELL (T. C.) HEDGES (R. E. M.), Nitrogen balance and $\delta^{15}\text{N}$: why you're not what you eat during pregnancy, *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, vol. 18, n°23, 2004, p. 2889–2896.

Fuller et al 2005 : FULLER (B. T.), FULLER (J. L.), SAGE (N. E.), HARRIS (D. A.), O'CONNELL (T. C.) HEDGES (R. E. M.), Nitrogen balance and $\delta^{15}\text{N}$: why you're not what you eat during nutritional stress, *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, vol. 19, n°18, 2005, p. 2497–2506.

Gautier et al. 2012 : GAUTIER (A.), GRIECO (A. J.), Food and drink in medieval and renaissance Europe: an overview of the past decade (2001-2012), *Food and History*, vol. 10, n°2, 2012, p. 73- 88.

Heaton 1999 : HEATON (T. H. E.), (1999), Spatial, species, and temporal variations in the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios of C_3 plants: implications for paleodiet studies, *Journal of Archaeological Science*, vol. 26, n°6, 1999, p. 637- 649.

Hedges et al. 2007a : HEDGES (R. E. M.), CLEMENT (J. G.), THOMAS (C. D. L.), O'CONNELL (T. C.), Collagen turnover in the adult femoral mid-shaft: Model from anthropogenic radiocarbon tracer measurements, *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 133, n°2, 2007, p. 808–816.

Hedges et al. 2007b : HEDGES (R. E. M.), REYNARD (L. M.), Nitrogen isotopes and the trophic level of humans in archaeology, *Journal of Archaeological Science*, vol. 34, n°8, 2007, p. 1240- 1251.

Herrscher 2003 : HERRSCHER (E.), 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*, vol. 15, n°3- 4, 2003, p. 147- 309.

Herrscher 2013 : HERRSCHER (E.), Détection isotopique des modalités d'allaitement et de sevrage à partir des ossements archéologiques, *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, vol. 48, n°2, 2013, p. 75- 85.

Herrscher et al. 2015 : HERRSCHER (E.), GOUDE (G.), Biogéochimie isotopique et anthropologie biologique : reconstitution des modes de vie du passé, in : BALASSE (M.), BRUGAL (J.-P.), DAUPHIN (Y.), GEIGL (E.-M.), OBERLIN (C.), REICHE (I.), éd., *Messages d'Os Archéométrie du squelette animal et humain*, Éditions des archives contemporaines, 2015, p. 359- 375.

Herrscher et al. 2018 : HERRSCHER (E.), FENNER (J. N.), VALENTIN (F.), CLARK (G.), REEPMAYER (C.), BOUFFANDEAU (L.), ANDRÉ (G.), Multi-isotopic analysis of first Polynesian diet (Talasiu, Tongatapu, Kingdom of Tonga), *Journal of Archaeological Science: Reports*, vol. 18, 2018, p. 308-317.

Hoefs 2009 : HOEFS (J.), *Stable Isotope Geochemistry*, Springer, 2009, 292 p.

Jaouen et al. 2012 : JAOUEN (K.), BALTER (V.), HERRSCHER (E.), LAMBOUX (A.), TELOUK (P.) ALBARÈDE (F.), Fe and Cu stable isotopes in archaeological human bones and their relationship to sex, *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 148, n°3, 2012, p. 334–340.

Jaouen et al. 2016 : JAOUEN (K.), BEASLEY (M.), SCHOENINGER (M.), HUBLIN (J.-J.), RICHARDS (M. P.), Zinc isotope ratios of bones and teeth as new dietary indicators: results from a modern food web (Koobi Fora, Kenya), *Scientific Reports*, vol. 6, 2016, p. 26281.

Jaouen et al. 2013 : JAOUEN (K.), PONS (M.-L.), BALTER (V.), Iron, copper and zinc isotopic fractionation up mammal trophic chains, *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 374, 2013, p. 164- 172.

Katzenberg et al. 1999a : KATZENBERG (M. A.), LOVELL (N. C.), Stable isotope variation in pathological bone, *International Journal of Osteoarchaeology*, vol. 9, n°5, 1999, p. 316–324.

Katzenberg et al. 1999b : KATZENBERG (M. A.), WEBER (A.), Stable isotope ecology and palaeodiet in the lake Baikal region of Siberia, *Journal of Archaeological Science*, vol.26, 1999, p. 651-659.

Keenleyside et al. 2009 : KEENLEYSIDE (A.), SCHWARCZ (H.), STIRLING (L.), BEN LAZREG (N.), Stable isotopic evidence for diet in a Roman and Late Roman population from Leptiminus, Tunisia, *Journal of Archaeological Science*, vol. 36, n°1, 2009, p. 51- 63.

Longin 1971 : LONGIN (R.), New method of collagen extraction for radiocarbon dating, *Nature*, vol. 230, n°5291, 1971, p. 241- 242.

Mariotti 1983 : MARIOTTI (A.), Atmospheric nitrogen is a reliable standard for natural ¹⁵N abundance measurements, *Nature*, vol. 303, n°5919, 1983, p. 685- 687.

Mekota et al. 2006 : MEKOTA (A.-M.), GRUPE (G.), UFER (S.), CUNTZ (U.), Serial analysis of stable nitrogen and carbon isotopes in hair: monitoring starvation and recovery phases of patients suffering from anorexia nervosa, *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, vol. 20, n°10, 2006, p. 1604–1610.

Minagawa et al. 1984 : MINAGAWA (M.), WADA (E.), Stepwise enrichment of ¹⁵N along food chains: Further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 48, n°5, 1984, p. 1135- 1140.

Mocci 2014 : MOCCI (F.), Sur les piémonts de la Montagne Sainte-Victoire, Richeaume Puyloubier, in : NIN (N.), éd., *Aix antique: une cité en Gaule du Sud*, Silvana Editoriale, p. 274- 279.

O'Connell et al. 2012 : O'CONNELL (T. C.), KNEALE (C. J.), TASEVSKA (N.), KUHNLE (G. G. C.), The diet-body offset in human nitrogen isotopic values: A controlled dietary study, *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 149, n°3, 2012, p. 426–434.

Périquet 2011 : PERIQUET (J.-C.), *Le traité "Rustica" de la basse-cour*, Rustica éditions, 2011, 559 p.

Richards et al. 2003 : RICHARDS (M. P.), FULLER (B. T.), SPONHEIMER (M.), ROBINSON (T.) AYLIFFE (L.), Sulphur isotopes in palaeodietary studies: a review and results from a controlled feeding experiment, *International Journal of Osteoarchaeology*, vol. 13, n°1- 2, 2003, p. 37- 45.

Schoeninger et al. 1984 : SCHOENINGER (M. J.), DENIRO (M. J.), Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 48, n°4, 1984, p. 625- 639.

Smith et al. 1971 : SMITH (B. N.), EPSTEIN (S.), Two categories of ¹³C/¹²C ratios for higher plants, *Plant Physiology*, vol. 47, n°3, 1971, p. 380- 384.

Sponheimer et al. 2003 : SPONHEIMER (M.), ROBINSON (T.), AYLIFFE (L.), ROEDER (B.), HAMMER (J.), PASSEY (B.), EHLERINGER (J.), Nitrogen isotopes in mammalian herbivores: hair $\delta^{15}\text{N}$ values from a controlled feeding study, *International Journal of Osteoarchaeology*, vol. 13, n°1- 2, 2003, p. 80–87.

Szpak et al. 2014 : SZPAK (P.), LONGSTAFFE (F. J.), MILLAIRE (J.-F.), WHITE (C. D.), Large variation in nitrogen isotopic composition of a fertilized legume, *Journal of Archaeological Science*, vol. 45, 2014, p. 72- 79.

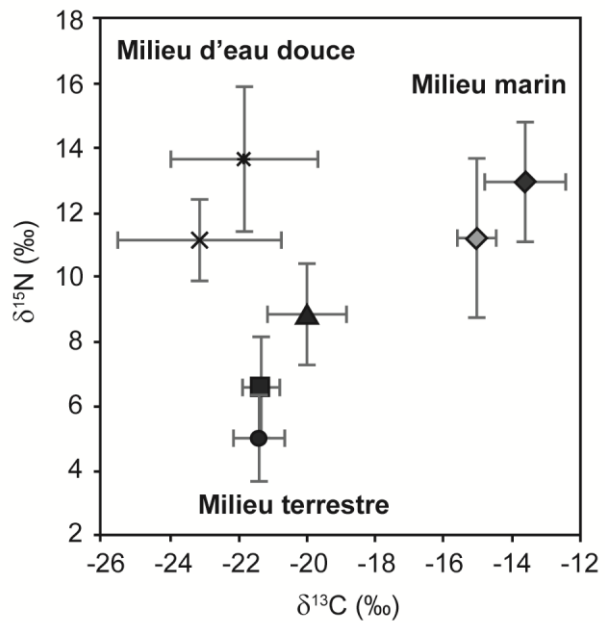
Tarrou 2017 : TARROU (L.), dir., *Mauguio, le site de Lallemand du Chasséen moyen à l'établissement rural du haut Moyen Âge*, Rapport d'opération, INRAP Méditerranée, 2017, 2 tomes, 4 volumes.

Tieszen 1991 : TIESZEN (L. L.), Natural variations in the carbon isotope values of plants: Implications for archaeology, ecology, and paleoecology, *Journal of Archaeological Science*, vol. 18, n°3, 1991, p. 227- 248.

van Klinken 1999 : VAN KLINKEN (G. J.), Bone collagen quality indicators for palaeodietary and radiocarbon measurements, *Journal of Archaeological Science*, vol. 26, n°6, 1999, p. 687- 695.

Walsh et al. 2003 : WALSH (K), MOCCI (F.), Fame and Marginality: The Archaeology of the Montagne Sainte Victoire (Provence, France), *American Journal of Archaeology*, vol. 107, n°1, 2003 p. 45- 69.

Wild et al. 2000 : WILD (E. M.), ARLAMOVSKY (K. A.), GOLSER (R.), KUTSCHERA (W.), PRILLER (A.), PUCHEGGER (S.), VYCU DILIK (W.), ¹⁴C dating with the bomb peak: An application to forensic medicine, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, vol. 172, n°1–4, 2000, p. 944- 950.



Ressources aquatiques **Ressources terrestres**

- ◇ Poissons marins n=37 ▲ Carnivores n=32
- ◆ Anadromes n=6 ■ Omnivores n=75
- × Catadromes n=11 ● Herbivores n=148
- * Poissons dulçaquicoles n=9

Fig. 1 Exemple de distribution des compositions isotopiques en carbone et en azote dans un environnement tempéré de type C3 en Europe occidentale pour l'Antiquité et le Moyen Age (d'après Herrscher *et al.* 2015)

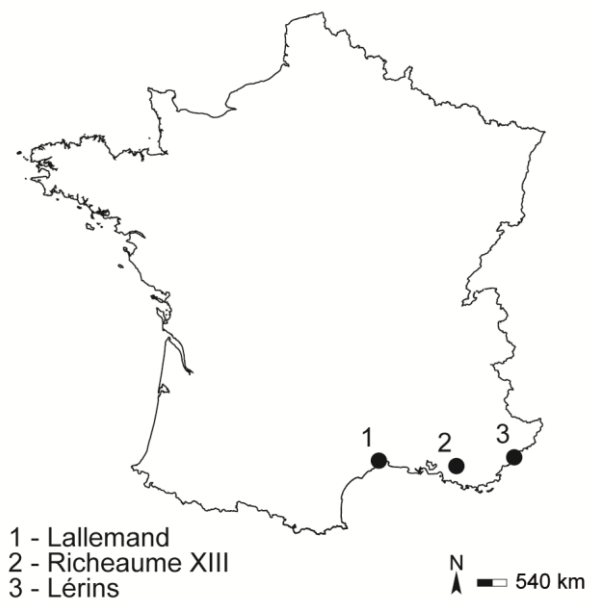


Fig. 2 Localisation géographique des sites de Lallemand, Richeaume XIII et Lérins

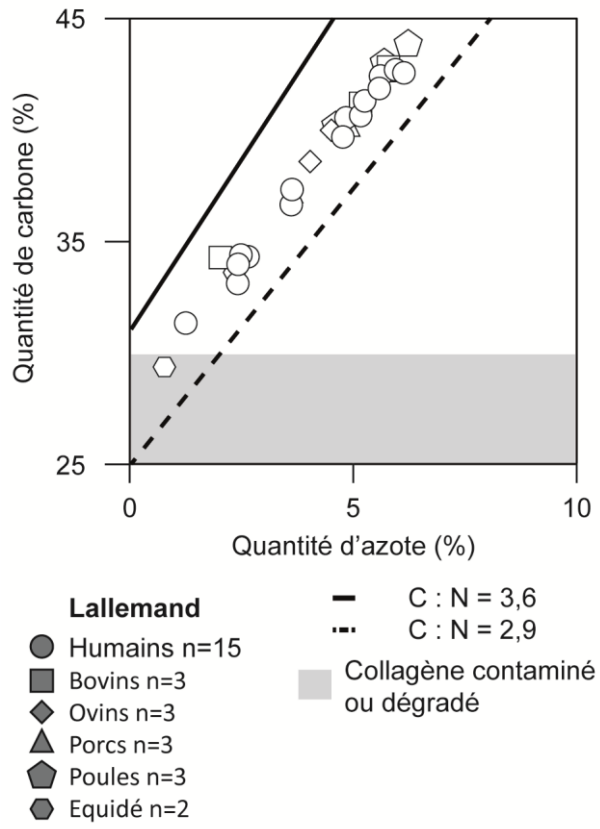


Fig. 3 Quantité d'azote et de carbone des échantillons de Lallemand

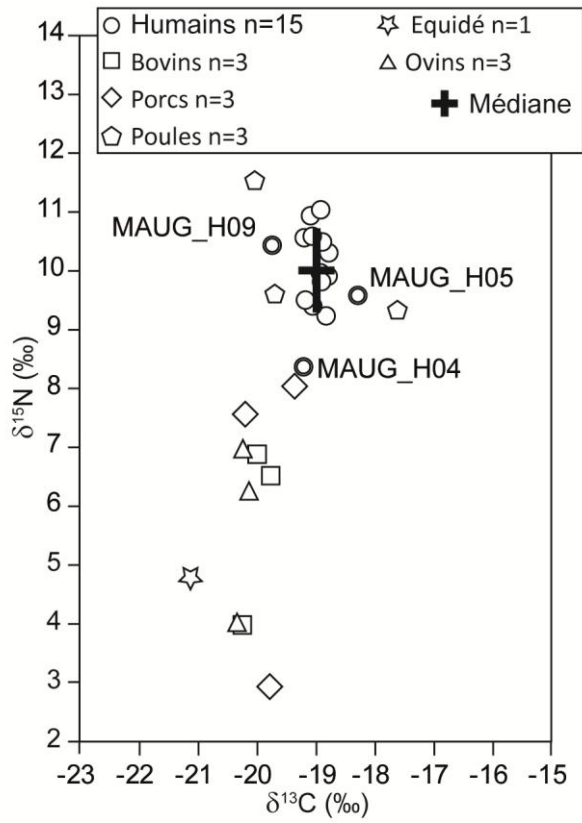


Fig.4 Rapports isotopiques du carbone et de l'azote des sujets humains et animaux de Lallemand

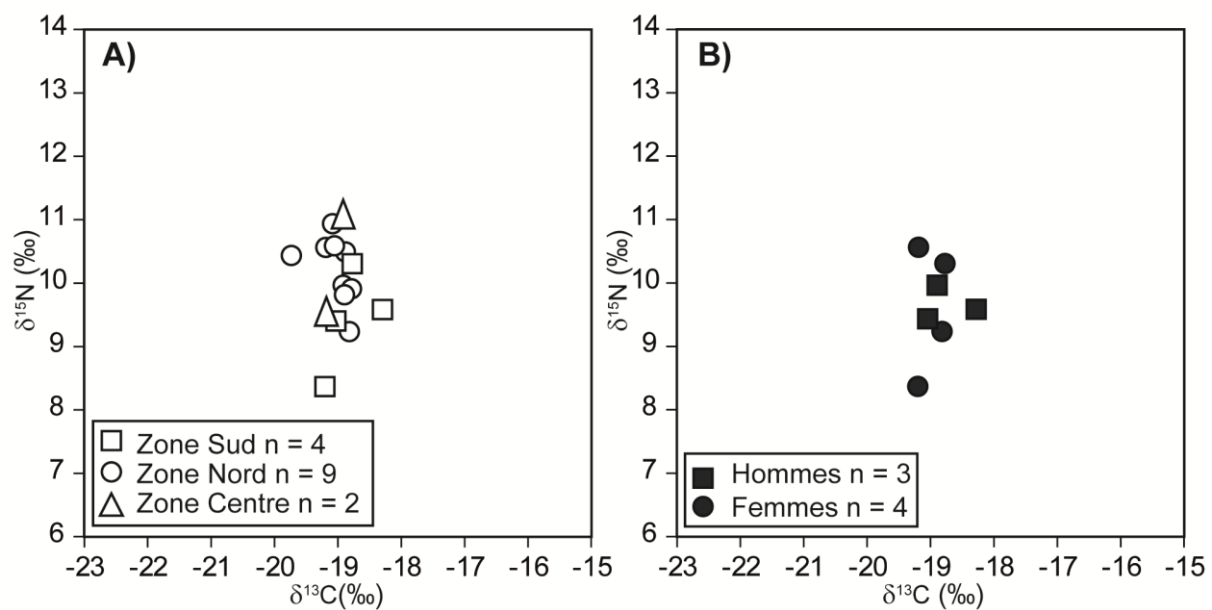


Fig. 5 Rapports isotopiques du carbone et de l'azote des sujets humains de Lillemand en fonction a) des secteurs archéologiques, b) du sexe

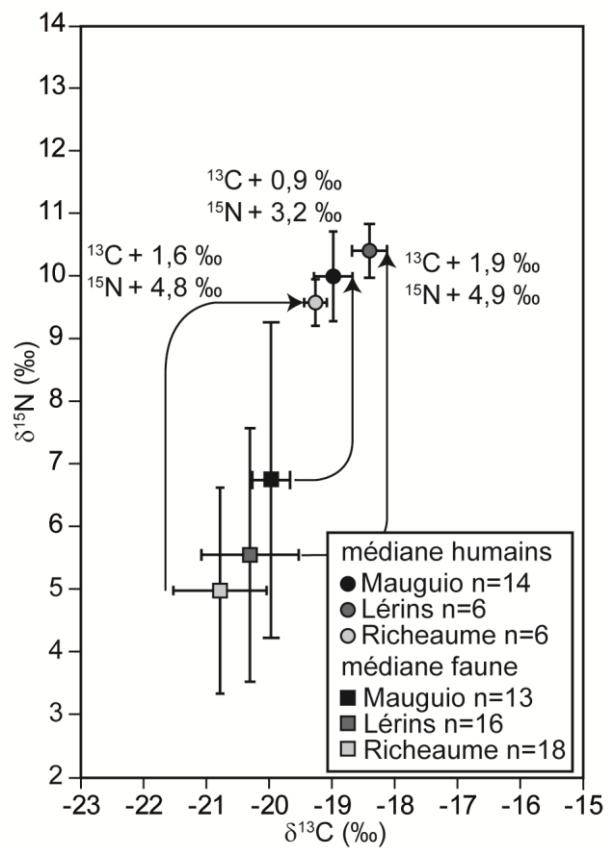


Fig. 6 Rapports isotopiques du carbone et de l'azote des sujets des sites de Lallemand, Lérins et Richeaume

Echantillon	Os prélevé	Sexe	Aire funéraire	Rendement (mg/g)	Quantité de carbone (%)	Quantité d'azote (%)	C/N	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
MAUG_H01	Métatarse	Indéterminé	Centre	35,6	36,7	13,7	3,1	-19,2	9,5
MAUG_H02	Phalange	Indéterminé	Nord	22,0	34,4	12,7	3,2	-18,8	9,9
MAUG_H03	Phalange	Féminin	Nord	129,1	42,5	15,7	3,2	-19,2	10,6
MAUG_H04	Phalange	Féminin	Sud	53,7	40,6	14,9	3,2	-19,2	8,4
MAUG_H05	Phalange	Masculin	Sud	53,9	40,7	15,2	3,1	-18,3	9,6
MAUG_H06	Phalange	Masculin	Nord	138,1	42,8	16,0	3,1	-18,9	10,0
MAUG_H07	Phalange	Indéterminé	Nord	40,0	33,2	12,5	3,1	-18,9	10,5
MAUG_H08	Phalange	Indéterminé	Nord	32,2	34,5	12,6	3,2	-19,1	10,6
MAUG_H09	Phalange	Indéterminé	Nord	71,1	41,4	15,3	3,1	-19,7	10,4
MAUG_H10	Phalange	Indéterminé	Nord	31,8	31,4	11,3	3,2	-18,9	9,8
MAUG_H11	Phalange	Indéterminé	Nord	94,8	39,7	14,8	3,1	-19,1	10,9
MAUG_H12	Phalange	Féminin	Sud	108,5	41,9	15,7	3,1	-18,8	10,3
MAUG_H13	Phalange	Masculin	Sud	154,4	42,6	16,2	3,1	-19,0	9,4
MAUG_H14	Phalange	Féminin	Nord	50,0	37,4	13,7	3,2	-18,8	9,2
MAUG_H15	Phalange	Indéterminé	Centre	>10	34,0	12,5	3,2	-18,9	11,0

Tabl. 1 Données élémentaires et isotopiques des humains de Lallemand

Echantillon	US	Rendement (mg/g)	Quantité de carbone (%)	Quantité d'azote (%)	Rapport C/N	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
<i>Bovin_1</i>	PT1024	16,1	34,4	12,0	3,3	-20,0	6,9
<i>Bovin_2</i>	FS2024	>10	41,3	15,2	3,2	-20,2	4,0
<i>Bovin_3</i>	US3111	34,9	42,9	15,8	3,2	-19,8	6,5
<i>Ovis_1</i>	PT1024	38,6	38,7	14,0	3,2	-20,3	4,0
<i>Ovin_2</i>	US3111	21,4	40,1	14,5	3,2	-20,1	6,3
<i>Ovis_3</i>	FS2024	41,0	39,8	14,8	3,1	-20,2	7,0
<i>Equidé_1</i>	FS1132	24,2	33,7	12,3	3,2	-21,1	4,8
<i>Equidé_2</i>	US3111	17,6	29,5	10,8	3,2	-	-
<i>Equidé_3</i>	PT1024	8,3	-	-	-	-	-
<i>Poule_1</i>	FS2024	>10	44,0	16,2	3,2	-17,6	9,3
<i>Poule_2</i>	US3111	90,0	40,3	14,6	3,2	-20,0	11,5
<i>Poule_3</i>	US3154	123,0	43,2	15,7	3,2	-19,7	9,6
<i>Porc_1</i>	US3154	37,9	37,3	13,6	3,2	-20,2	7,6
<i>Porc_2</i>	FS2024	66,7	40,3	14,9	3,2	-19,8	2,9
<i>Porc_3</i>	US3154	62,1	42,8	15,7	3,2	-19,4	8,0

Tabl. 2 Données bioarchéologiques et isotopiques des espèces animales de Lallemand

		$\delta^{13}\text{C}$ (‰)			$\delta^{15}\text{N}$ (‰)		
		Minimum	Maximum	Médiane	Minimum	Maximum	Médiane
Femmes	n = 3	-19,0	-18,3		9,4	10,0	
Hommes	n = 3	-19,2	-18,8		8,4	10,6	
Centre	n = 2	-19,2	-18,9		9,5	11,0	
Sud	n = 4	-19,2	-18,3		8,4	10,3	
Nord	n = 9	-19,7	-18,8	-18,9	9,2	10,9	10,4
Humains total	n = 15	-19,7	-18,3	-18,9	8,4	11,0	10,0
<i>Bos taurus</i>	n = 3	-20,2	-19,8		4,0	6,9	
<i>Ovis aries</i>	n = 3	-20,3	-20,1		4,0	7,0	
<i>Equidae</i>	n = 1	-21,1			4,8		
Herbivores	n = 7	-21,1	-19,8	-20,2	4,0	7,0	6,3
<i>Gallus gallus domesticus</i>	n = 3	-20,0	-17,6		9,3	11,5	
<i>Sus scrofa domesticus</i>	n = 3	-20,2	-19,4		2,9	8,0	
Animaux total	n = 13	-21,1	-17,6	-20,0	2,9	11,5	6,9

Tabl. 3 Résumés des valeurs isotopiques des échantillons de Lallemand