



HAL
open science

L'alimentation des troupeaux porcins et la production de viande à Levroux Les Arènes (Indre) : une analyse isotopique

Delphine Fremondeau, Marie-Pierre Horard-Herbin, Joël Ughetto-Monfrin,
Marie Balasse

► To cite this version:

Delphine Fremondeau, Marie-Pierre Horard-Herbin, Joël Ughetto-Monfrin, Marie Balasse. L'alimentation des troupeaux porcins et la production de viande à Levroux Les Arènes (Indre) : une analyse isotopique. Anne Colin; Florence Verdin. L'âge du Fer en Aquitaine et sur ses marges. Mobilité des personnes, migrations des idées, circulations des biens dans l'espace européen à l'âge du Fer. Actes du 35e colloque international de l'Association française pour l'étude de l'âge du Fer (Bordeaux, 2-5 juin 2011), Supplément Aquitania (30), Fédération Aquitania, pp.747-752, 2013, 978-2-910763-34-3. hal-03079431

HAL Id: hal-03079431

<https://hal.science/hal-03079431v1>

Submitted on 13 Feb 2023

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

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



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

L'alimentation des troupeaux porcins et la production de viande à Levroux Les Arènes (Indre) : une analyse isotopique

*Delphine Frémondeau, Marie-Pierre Horard-Herbin,
Joël Ughetto-Monfrin, Marie Balasse*

Parmi les biens dont la circulation est mentionnée en Gaule dans les sources antiques, figurent les conserves de viandes (jambons, saucissons, lard¹ et salaisons²) et les animaux sur pieds (oies³). Il reste difficile de confirmer l'existence de tels phénomènes, d'en quantifier la potentielle ampleur et les incidences sur l'économie agro-pastorale gauloise.

À Levroux Les Arènes, village d'artisans biturige du II^e s. a.C. (fig. 1), le porc tient une place prépondérante dans l'alimentation. Fondée au début du II^e s. a.C., cette agglomération est caractérisée par une forte activité artisanale, concentrée principalement sur le travail du métal. La présence d'objets importés et la fabrication de monnaies témoignent de l'insertion du village au sein d'un réseau d'échanges à différentes échelles comme celles des fermes environnantes, mais aussi du sud et de l'est de la Gaule, jusqu'à l'Italie et peut-être l'est du Rhin⁴. Dans ce contexte de commerce à courtes et longues distances, la viande de porc a pu constituer une des marchandises échangées. En l'occurrence, l'étude des restes osseux de porc de Levroux a révélé une sous-représentation des pièces anatomiques portant les jambons. Ce déficit, qui atteste de la non consommation locale de ces morceaux, pourrait s'expliquer par une exportation de viandes fraîches ou sous forme de conserves, comme des salaisons⁵. L'hypothèse posée était celle de porcs élevés en sous au sein du village et nourris par les sous-produits des consommations humaines et de l'agriculture avant d'être abattus puis transformés sur place.

Le but de cette étude est de caractériser, par une analyse des compositions isotopiques en azote et en carbone du collagène de l'os, l'alimentation des porcs domestiques de Levroux, afin de déterminer dans quelle mesure celle-ci a pu peser dans la pratique d'un élevage en partie voué à la production de viande pour des échanges ou



Fig. 1. Localisation du site de Levroux Les Arènes (fond de carte : © Daniel Dalet / d-maps.com).

- 1- Varron, *De l'Agriculture*, 2.4.
- 2- Strabon, *Géographies*, 4.4.3.
- 3- Plin, *Nat.*, 10.27.
- 4- Collectif 2000b, 305-314.
- 5- Horard-Herbin 1997, 56-57.

du commerce. La quantité et la qualité de l'alimentation ont une influence directe sur la croissance pondérale des animaux d'élevage, mais également sur la croissance démographique du troupeau. En effet, le nombre de mises-bas dans l'année est principalement conditionné par l'alimentation⁶. Enfin, le régime alimentaire, notamment pendant la période de finition avant l'abattage, détermine également les qualités organoleptiques de la viande et conditionne son aptitude à la transformation en charcuterie sèche⁷.

MÉTHODES

Principes de l'analyse isotopique du collagène de l'os

Les compositions isotopiques en azote ($\delta^{15}\text{N}$) et en carbone ($\delta^{13}\text{C}$) du collagène sont liées principalement à celles des protéines de l'alimentation. Elles sont tout d'abord déterminées par celles des plantes au premier niveau du réseau trophique.

Le $\delta^{15}\text{N}$ des plantes varie en fonction des caractéristiques du sol et de la topographie, constituant un paramètre local⁸. Dans le régime alimentaire d'un animal, plus l'apport carné est proportionnellement élevé et plus le $\delta^{15}\text{N}$ de son collagène augmente. Il est donc possible de faire la distinction entre des régimes herbivore, omnivore et carnivore (le collagène des derniers étant enrichi d'environ 3 ‰ en ^{15}N par rapport à celui des premiers⁹). Le porc, caractérisé par une grande plasticité dans son alimentation, peut se placer à presque tous les intermédiaires possibles, de l'élevage en plein air (sur pâturage ou en extensif : régime herbivore à omnivore), au porc en soue (régime omnivore à carnivore).

Le $\delta^{13}\text{C}$ des plantes largement dominantes sous nos latitudes est caractérisé par une valeur modale de -27 ‰¹⁰. Un enrichissement en ^{13}C d'environ 5 ‰ est constaté entre le $\delta^{13}\text{C}$ des plantes et celui du collagène des herbivores¹¹. Le passage aux échelons trophiques supérieurs s'accompagne d'un enrichissement faible (environ 1 ‰)¹².

Le collagène de l'os formé lors de la croissance est ensuite remanié tout au long de la vie, avec un taux de renouvellement très lent¹³. Ainsi, les valeurs obtenues sur un échantillon d'os représentent des intégrations sur plusieurs années.

Le corpus

Les ossements animaux ont été sélectionnés parmi les restes des structures appartenant à la phase I, correspondant au début de l'occupation du site¹⁴. Neuf métacarpes de bovins, dix métacarpes de caprinés (dont cinq moutons et trois chèvres), huit tibias de chiens et dix mandibules de porcs ont été échantillonnés. Le choix a porté sur des ossements appartenant à des individus différents et tous adultes, les âges ayant été estimés à partir des stades d'éruption et d'usure dentaires pour le porc¹⁵, ou à partir des stades épiphysaires pour les autres taxons¹⁶. Les jeunes ont été écartés de l'analyse, car la consommation du lait maternel entraîne un enrichisse-

6- Albarella *et al.* 2011, 152-153 ; Étienne 2003, 87 ; Halstead & Isaakidou 2011, 165 ; Legendre 1943, 105-107.

7- Molénat & Casabianca 1979, 52.

8- Pardo & Nadelhoffer 2010, 235-236.

9- Schoeninger & DeNiro 1984, 635.

10- Tieszen & Boutton 1989, 169.

11- Ambrose & Norr 1993, 4-7 ; Hedges *et al.* 2005, 121 ; Lee-Thorp *et al.* 1989, 592.

12- Ambrose & DeNiro 1986, 396.

13- Tieszen *et al.* 1983, 36.

14- Collectif 2000a, 167-172.

15- Horard-Herbin 1997, 140.

16- Barone 1976, 53.

ment en ^{15}N d'environ 3 ‰ du collagène des jeunes mammifères¹⁷, biaisant ainsi la reconstitution du réseau trophique. Enfin, en raison du très petit nombre de restes de sangliers présents dans la faune du site de Levroux, il n'a pas été possible de les inclure dans l'analyse isotopique pour en comparer les résultats avec ceux des porcs échantillonnés. Néanmoins, les différentes espèces sélectionnées devraient nous fournir un étalonnage de référence des régimes herbivores aux carnivores.

Extraction et analyse du collagène de l'os

Le collagène est extrait à partir de 400 mg de poudre d'os environ, selon un protocole décrit par Bocherens *et al.*¹⁸. L'analyse par spectrométrie de masse isotopique est effectuée sur une quantité de 600 µg de collagène. La précision analytique calculée sur 7 à 13 standards internes (alanine) est en moyenne de 0,08 ‰ pour le $\delta^{15}\text{N}$ et de 0,26 ‰ pour le $\delta^{13}\text{C}$. Les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ et de $\delta^{13}\text{C}$ de l'alanine sont normalisées par rapport à celles de la caféine (IAEA-600).

RÉSULTATS

État de conservation du collagène

Les rendements d'extraction varient de 20 à 151 mg/g (moyenne = 62 ± 38 mg/g), contre environ 240 mg/g dans l'os frais. Les teneurs en carbone (de 34,6 à 42,8 %), en azote (de 12,6 à 15,7 %) et les rapports atomiques du carbone sur l'azote (de 3,1 à 3,3) attestent la bonne préservation de la qualité du collagène¹⁹.

Composition isotopique en azote du collagène du cheptel domestique de Levroux

Les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ sont comprises entre 5,0 et 7,8 ‰ chez les bovins, entre 4,5 et 9,3 ‰ chez les caprinés, entre 7,5 et 9,1 ‰ chez les chiens et entre 3,5 et 8,0 ‰ chez les porcs (fig. 2).

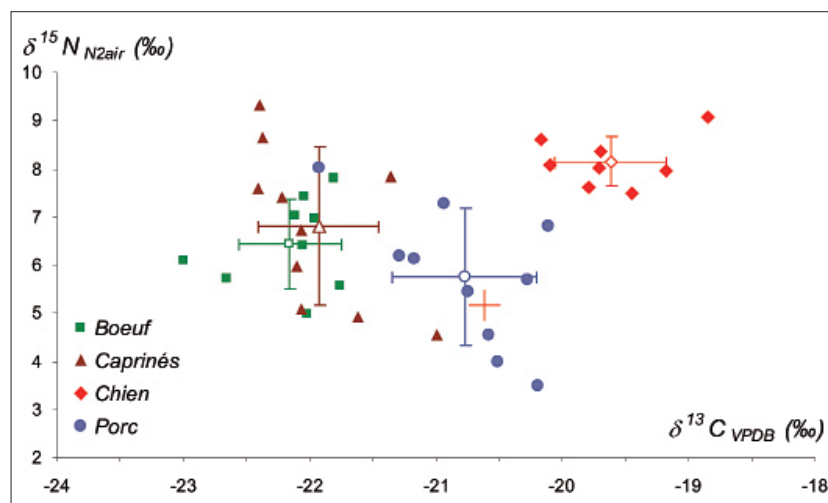


Fig. 2. Compositions isotopiques en carbone et en azote du collagène des os de bovins, de caprinés, de chiens et de porcs du site de Levroux Les Arènes. Les symboles vides correspondent aux moyennes des valeurs pour chaque taxon \pm l'écart-type. La croix en rouge renvoie aux valeurs moyennes théoriques du régime alimentaire des chiens (© D. Frémondeau).

17- Balasse *et al.* 2001, 242-243 ; Fogel *et al.* 1989, 111-116 ; Fuller *et al.* 2006, 287.

18- Bocherens *et al.* 1991, 483-484.

19- Ambrose 1993, 74-75 ; van Klinken 1999, 690-691.

Les moyennes des $\delta^{15}\text{N}$ du collagène des bovins et des caprinés ($6,4 \pm 0,9 \text{ ‰}$ et $6,8 \pm 1,6 \text{ ‰}$ respectivement) ne sont pas significativement différentes (test t, $p = 0,475$, tabl. 1). La moyenne des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ des porcs n'est pas significativement différente de celles des bovins et caprinés réunis (test t, $p = 0,114$, tabl. 1). Parmi les quatre taxons échantillonnés, les caprinés et les porcins sont caractérisés par une grande amplitude de variation ($4,8 \text{ ‰}$ et $4,5 \text{ ‰}$ respectivement). À l'inverse, les chiens ont la plus faible amplitude de variation ($1,6 \text{ ‰}$).

Composition isotopique en carbone du collagène du cheptel domestique de Levroux

Les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ sont comprises entre $-23,0$ et $-21,8 \text{ ‰}$ chez le bœuf, entre $-22,4$ et $-21,0 \text{ ‰}$ chez les caprinés, entre $-20,2$ et $-18,9 \text{ ‰}$ chez les chiens et entre $-21,9$ et $-20,1 \text{ ‰}$ chez le porc (fig. 2).

Les moyennes des $\delta^{13}\text{C}$ du collagène des bovins ($-22,2 \pm 0,4 \text{ ‰}$) et des caprinés ($-21,9 \pm 0,5 \text{ ‰}$) ne sont pas significativement différentes (test t, $p = 0,245$, tabl. 1). La moyenne des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ des porcs ($-20,8 \pm 0,5 \text{ ‰}$) est significativement différente de celle des bovins et des caprinés réunis ($-22,1 \pm 0,4 \text{ ‰}$; test t, $p < 0,001$, tabl. 1), ainsi que de celle des chiens ($-19,6 \pm 0,4 \text{ ‰}$; test t, $p < 0,001$, tabl. 1).

$\delta^{13}\text{C}$	Caprinés	Porc	Chien
Bœuf	ns (0,245)	-	-
Herbivores		hs (0,000)	hs (0,000)
Porc		-	hs (0,000)

Tabl. 1. Résultats des tests t réalisés entre les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ et de $\delta^{15}\text{N}$ de chaque taxon (le terme "herbivores" regroupe les bovins et les caprinés ; ns : non significatif ; hs : hautement significatif ; entre parenthèses : probabilité) (© D. Frémondeau).

$\delta^{15}\text{N}$	Caprinés	Porc	Chien
Bœuf	ns (0,475)	-	-
Herbivores		ns (0,114)	hs (0,003)
Porc		-	hs (0,000)

DISCUSSION

Ces résultats constituent les premières données sur la composition isotopique en carbone et en azote du collagène de l'os d'animaux domestiques provenant d'un assemblage archéologique de la région Centre à l'âge du Fer et nous avons donc intégré des comparatifs plus lointains.

L'analyse de la composition isotopique en azote du collagène de 20 porcs corses actuels issus de deux élevages extensifs a permis d'estimer l'amplitude de variation des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ au sein de chaque élevage à 1 ‰ ²⁰. Cette amplitude de variation est de $2,4 \text{ ‰}$ lorsque l'on rassemble les données des deux élevages. Sur l'échantillon des porcs de Levroux, l'amplitude de variation des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ atteint $4,5 \text{ ‰}$. Elle est plus élevée que celle mesurée sur huit restes de porcs issus du village LBK de Karsdorf en Allemagne ($1,4 \text{ ‰}$)²¹, mais comparable à celles mesurées d'une part sur huit restes de porcs du site fortifié de hauteur du Second âge du Fer de Trelve Head en Cornouailles ($3,8 \text{ ‰}$)²² et d'autre part sur 12 restes de porcs issus du camp romain du 1^{er} s. p.C. d'York ($4,3 \text{ ‰}$)²³.

20- Frémondeau 2012, 133-139.

21- Oelze *et al.* 2011, 274.

22- Jay & Richards 2007, 176-177.

23- Müldner & Richards 2007, 687-688.

À Levroux, cette forte amplitude de variation du $\delta^{15}\text{N}$ du collagène des porcs implique une forte variabilité du $\delta^{15}\text{N}$ de leur alimentation. Le $\delta^{15}\text{N}$ des plantes constituant un paramètre local, cela pourrait s'interpréter comme une provenance diversifiée des porcs, qui seraient issus de différents troupeaux élevés dans des localités et/ou des environnements différents, comme des fermes plus ou moins éloignées.

Dans la suite de la discussion, les bovins et les caprinés sont regroupés sous le terme d'«herbivores». La moyenne des $\delta^{15}\text{N}$ des porcs n'est pas significativement différente de celles des herbivores, indiquant un régime alimentaire à dominante herbivore pour les premiers. Par ailleurs, le collagène des porcs échantillonnés est enrichi en moyenne de 1,3 ‰ en ^{13}C par rapport à celui des herbivores. Ces valeurs élevées de $\delta^{13}\text{C}$ pourraient s'expliquer par la consommation de racines et/ou de fruits, dont la composition isotopique peut être enrichie en ^{13}C jusqu'à 3 ‰ par rapport aux feuilles d'une même plante²⁴. Cette hypothèse pourrait conforter l'idée d'un élevage en plein air au moins une partie de l'année.

Les valeurs moyennes de $\delta^{15}\text{N}$ et de $\delta^{13}\text{C}$ de l'alimentation carnée des chiens de Levroux peuvent être définies en retranchant 3 ‰ et 1 ‰ respectivement aux valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ et de $\delta^{13}\text{C}$ de leur collagène (croix en rouge, fig. 2). Les moyennes obtenues sont très proches de celles du porc, et incompatibles avec une contribution significative des viandes de bovins et de caprinés (fig. 2), suggérant que les porcs et les chiens de Levroux ont pu constituer une chaîne alimentaire à part, dont les caprinés et les bovins étaient exclus. L'analyse spatiale des ossements animaux sur deux des terrains du site (Rogier et Lacotte) par S. Krausz a d'ailleurs mis en évidence que la répartition dans l'espace des dépôts des déchets de porc est différente de celles des autres espèces²⁵. Ceci pourrait indiquer une chaîne opératoire du traitement des carcasses de porc dissociée dans l'espace de celle des caprinés et des bovins, et un accès préférentiel aux déchets issus du traitement boucher des porcs pour les chiens de Levroux.

CONCLUSION

L'étude isotopique des restes osseux de l'assemblage de Levroux a permis de déterminer que les porcs abattus au village avaient un régime alimentaire principalement herbivore, peut-être avec une composante de racines et/ou de fruits suggérant un accès aux ressources naturelles, en accord avec un élevage en plein air au moins une partie de l'année. Cet aspect sera approfondi par des analyses séquentielles de l'émail dentaire, donnant accès aux variations saisonnières de l'alimentation à une échelle temporelle beaucoup plus fine²⁶. L'amplitude élevée de variation des signaux isotopiques ($\delta^{15}\text{N}$) pourrait être expliquée par un recrutement des animaux dépassant l'échelle locale. Les porcs abattus à Levroux seraient élevés dans différentes localités, des fermes par exemple, puis amenés vivants à Levroux, pour y être abattus et leur carcasse transformée en conserve en vue des échanges ou du commerce d'une partie de la viande. Levroux aurait ainsi tenu un rôle centralisateur pour la campagne environnante, lieu de transformation et de redistribution. Il semble par ailleurs que les chiens de Levroux aient eu une proximité forte avec la chaîne de boucherie porcine.

Remerciements

Les analyses isotopiques ont été réalisées au Service de Spectrométrie de Masse Isotopique du Muséum national d'Histoire naturelle (SSMIM) à Paris, grâce au financement du Starting Grant de l'ERC GA-202881 (SIANHE, dir. M. Balasse). Nous remercions O. Buchsenschutz de nous avoir permis d'accéder au mobilier archéologique de Levroux Les Arènes.

24- Cernusak *et al.* 2009, 200-201.

25- Krausz 2000, 192, 234.

26- Frémondeau 2012, 228-255.

Bibliographie

- Albarella, U. et A. Trentacoste, dir. (2011) : *Ethnozoarchaeology. The present and past of human-animal relationships*, Oxbow Books, Oxford.
- Albarella, U., F. Manconi et A. Trentacoste (2011) : "A week on the plateau: Pig husbandry, mobility and resource exploitation in central Sardinia", in : Albarella & Trentacoste, dir. 2011, 143-159.
- Ambrose, S. H. (1993) : "Isotopic analysis of paleodiets: methodological and interpretative considerations", in : Sandford, dir. 1993, 59-130.
- Ambrose, S. H. et M. J. DeNiro (1986) : "The isotopic ecology of East African mammals", *Oecologia*, 69, 395-406.
- Ambrose, S. H. et L. Norr (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 : Lambert & Grupe, dir. 1993, 1-37.
- Balasse, M., H. Bocherens, A. Mariotti et S. H. Ambrose (2001) : "Detection of dietary changes by intra-tooth carbon and nitrogen isotopic analysis : An experimental study of dentine collagen of cattle (*Bos taurus*)", *Journal of Archaeological Science*, 28, 235-245.
- Barone, R. (1976) : *Anatomie comparée des mammifères domestiques*, 1, Paris.
- Bocherens, H., M. Fizet, A. Mariotti, B. Lange-Badre, B. Vandermeersch, J.-P. Borel et G. Bellon (1991) : "Isotopic biogeochemistry (¹³C, ¹⁵N) of fossil vertebrate collagen: application to the study of a past food web including Neandertal man", *Journal of Human Evolution*, 20, 481-492.
- Buchsenschutz, O., A. Colin, G. Firmin, B. Fischer, J.-P. Guillemet, S. Krausz, M. Levéry, P. Marinval, L. Orellana et A. Pierret, dir. (2000) : *Le village celtique des Arènes à Levroux : synthèses*, RACF Suppl. 19, Tours.
- Cernusak, L. A., G. Tcherkez, C. Keitel, W. K. Cornwell, L. S. Santiago, A. Knohl, M. M. Barbour, D. G. Williams, P. B. Reich, D. S. Ellsworth, T. E. Dawson, H. G. Griffiths, G. D. Farquhar et I. J. Wright, (2009) : "Why are non-photosynthetic tissues generally ¹³C enriched compared with leaves in C₃ plants? Review and synthesis of current hypotheses", *Functional Plant Biology*, 36, 199-213.
- Collectif (2000a) : "Analyse chronologique", in : Buchsenschutz et al., dir. 2000, 167-172.
- Collectif (2000b) : "Synthèse : un village à vocation artisanale", in : Buchsenschutz et al., dir. 2000, 305-314.
- Étienne, P. (2003) : *Le sanglier*, Paris.
- Fogel, M. L., N. Tuross et D. W. Owsley (1989) : "Nitrogen isotope tracers of human lactation in modern and archaeological populations", *Annual Report of the Director Geophysical Laboratory, Carnegie Institution of Washington*, 1988-1989, 111-117.
- Frémondeau, D. (2012) : *Rythmes saisonniers des élevages porcins archéologiques : propositions pour un protocole d'analyse isotopique*, Thèse, Muséum national d'Histoire naturelle.
- Fuller, B. T., J. L. Fuller, D. A. Harris et R. E. M. Hedges (2006) : "Detection of breastfeeding and weaning in modern human infants with carbon and nitrogen stable isotope ratios", *American Journal of Physical Anthropology*, 129, 279-293.
- Halstead, P. et V. Isaakidou (2011) : "A pig fed by hand is worth two in the bush: Ethnoarchaeology of pig husbandry in Greece and its archaeological implications", in : Albarella & Trentacoste, dir. 2011, 160-174.
- Hedges, R. E. M., R. E. Stevens et P. L. Koch (2005) : "Isotopes in bones and teeth", in : Leng, dir. 2005, 117-145.
- Horard-Herbin, M.-P. (1997) : *Le village celtique des Arènes à Levroux. L'élevage et les productions animales dans l'économie de la fin du second âge du Fer à Levroux (Indre)*, RACF Suppl. 12, Tours.
- Jay, M. et M. P. Richards (2007) : "British Iron Age diet : stable isotopes and other evidence", *Proceedings of the Prehistoric Society Proceedings of the Prehistoric Society*, 73, 169-190.
- Krausz, S. (2000) : "Analyse spatiale", in : Buchsenschutz et al., dir. 2000, 167-172.
- Lambert, J. B. et G. Grupe, dir. (1993) : *Prehistoric Human Bone. Archaeology at the Molecular Level*, Berlin.
- Legendre, G. (1943) : *Le porc de plein air*, la Maison Rustique, Paris.
- Lee-Thorp, J., J. C. Sealy et N. J. van der Merwe (1989) : "Stable carbon isotope ratio differences between bone collagen and bone apatite, and their relationship to diet", *Journal of Archaeological Science*, 16, 585-599.
- Leng, M. J., dir. (2005) : *Isotopes in Palaeoenvironmental Research*, Springer, Dordrecht.
- Molénat M. et F. Casabianca (1979) : "Contribution à la maîtrise de l'élevage porcin extensif en Corse", *Bulletin technique du département de génétique animale*, 32.
- Müldner, G. et M. P. Richards (2007) : "Stable isotope evidence for the 1500 years of human diet at the city of York, UK", *American Journal of Physical Anthropology*, 133, 682-697.
- Oelze, V. M., A. Siebert, N. Nicklisch, H. Meller, V. Dresely et K. W. Alt (2011) : "Early Neolithic diet and animal husbandry: stable isotope evidence from three Linearbandkeramik (LBK) sites in Central Germany", *Journal of Archaeological Science*, 38, 270-279.
- Pardo, L. H. et K. J. Nadelhoffer (2010) : "Using nitrogen isotope ratios to assess terrestrial ecosystems at regional and global scales", in : West et al., dir. 2010, 221-249.
- Sandford, M. K., dir. (1993) : *Investigations of ancient human tissue. Chemical Analyses in Anthropology*, Langhorne, Pennsylvanie.
- Schoeninger, M. J. et M. J. DeNiro (1984) : "Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, 625-639.
- Tieszen, L. L., T. W. Boutton, K. G. Tesdahl et N. A. Slade (1983) : "Fractionation and turnover of stable carbon isotopes in animal tissues : implications for δ¹³C analysis of diet", *Oecologia*, 57, 32-37.
- Tieszen, L. L. et T. W. Boutton (1989) : "Stable carbon isotopes in terrestrial ecosystem research", *Springer-Verlag*, 68, 167-195.
- Van Klinken, G. J. (1999) : "Bone collagen quality indicators for palaeodietary and radiocarbon measurements", *Journal of Archaeological Science*, 26, 687-695.
- West, J. B., G. J. Bowen, T. E. Dawson et K. P. Tu, dir. (2010) : *Isoscapes. Understanding movement, pattern, and process on earth through isotope mapping*, Springer, Dordrecht-Heidelberg-Londres-New York.