

Zeitschrift: Archives des sciences et compte rendu des séances de la Société
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 44 (1991)
Heft: 3: Archives des Sciences

Artikel: Application de la biogéochimie isotopique (^{13}C , ^{15}N) à la détermination du régime alimentaire des populations humaines et animales durant les périodes antique et médiévale
Autor: Bocherens, Hervé / Fizet, Marc / Mariotti, André
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-740207>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 03.05.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Archs Sci. Genève	Vol. 44	Fasc. 3	pp. 329-340	Décembre 1991
-------------------	---------	---------	-------------	---------------

APPLICATION DE LA BIOGEOCHIMIE
ISOTOPIQUE (^{13}C , ^{15}N)
A LA DÉTERMINATION DU RÉGIME ALIMENTAIRE
DES POPULATIONS HUMAINES ET ANIMALES
DURANT LES PÉRIODES ANTIQUE ET MÉDIÉVALE

PAR

Hervé BOCHERENS¹, **Marc FIZET**¹, **André MARIOTTI**¹, **Claude OLIVE**²,
Georges BELLON³, **Daniel BILLIOU**¹

ABSTRACT

$\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values have been measured on collagen extracted from animal and human bones from a medieval site in Besançon and an ancient site in Geneva. Animals have been placed within their food web according to these values and a comparison with the values measured on human bones suggests that meat consumption was more important in Besançon in medieval times than in Geneva in ancient times.

RÉSUMÉ

Les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ et de $\delta^{15}\text{N}$ ont été mesurées sur du collagène d'ossements animaux et humains d'un site médiéval à Besançon et d'un site antique à Genève. Les animaux ont ainsi été replacés dans leurs réseaux trophiques respectifs et la comparaison avec les valeurs obtenues sur les hommes suggère une consommation de viande plus importante à l'époque médiévale à Besançon qu'aux temps antiques à Genève.

INTRODUCTION

Depuis notamment les travaux de DENIRO et EPSTEIN (1978, 1981), on sait que les abondances isotopiques naturelles des isotopes stables ^{13}C et ^{15}N des tissus organiques des animaux sont liées à celles de leur nourriture: l'abondance en ^{13}C reflète celle de la nourriture alors qu'un enrichissement isotopique en ^{15}N significatif se produit entre l'alimentation et l'animal. Comme il est possible de distinguer plusieurs catégories de ressources alimentaires d'après leurs abondances isotopiques en ^{13}C et en ^{15}N , les vertébrés peuvent être replacés dans les réseaux trophiques d'après les compositions isotopiques de certains de leurs composés organiques susceptibles de conservation après

¹ Laboratoire de Biogéochimie Isotopique, Université P. et M. Curie (Paris 6) 75 252 Paris Cedex 05 (France).

² Muséum d'Histoire naturelle, 1211 Genève 6 (Suisse).

³ Laboratoire de Biochimie Médicale, Université de Reims-Champagne-Ardenne, 51, rue Cognacq Jay, 51095 Reims Cedex (France).

leur mort, par exemple leur collagène osseux (SCHOENINGER, 1985; SCHOENINGER et DENIRO, 1984). Dans ce collagène, le contenu en ^{13}C reflète celui des végétaux à la base du réseau trophique, qui est déterminé essentiellement par le milieu où se produit la photosynthèse (marin ou aérien) et, pour le milieu aérien, par le type de processus photosynthétique utilisé par la plante: C3, C4 ou CAM (BENDER, 1968; SMITH et EPSTEIN, 1971; DEINES, 1980; O'LEARY, 1981). DENIRO et EPSTEIN (1978) montrent pour le carbone, que le contenu en ^{13}C de la totalité des tissus animaux est très proche de celui de la nourriture, alors que certains tissus peuvent être notablement enrichis ou appauvris en ^{13}C par rapport à cette nourriture. Ainsi le collagène se trouve spécifiquement enrichi d'environ 5‰ en ^{13}C de façon systématique par rapport à cette nourriture (VOGEL, 1978). Par contre, par le jeu de fractionnements isotopiques successifs, les abondances isotopiques s'enrichissent systématiquement en ^{15}N quand on progresse dans ce réseau trophique (MINAGAWA et WADA, 1984; SCHOENINGER, 1985).

Ces abondances isotopiques s'expriment pour le carbone en $\delta^{13}\text{C}$ versus l'étalon international PDB (un carbonate marin) et pour l'azote en $\delta^{15}\text{N}$ versus N_2 atmosphérique (MARIOTTI, 1984a):

$$\delta^{13}\text{C} \text{ ‰} = \frac{{}^{13}\text{R}_{\text{échantillon}} - {}^{13}\text{R}_{\text{étalon}}}{{}^{13}\text{R}_{\text{étalon}}} \cdot 1000$$

$$\delta^{15}\text{N} \text{ ‰} = \frac{{}^{15}\text{R}_{\text{échantillon}} - {}^{15}\text{R}_{\text{étalon}}}{{}^{15}\text{R}_{\text{étalon}}} \cdot 1000$$

où R représente les rapports isotopiques: ${}^{13}\text{R} = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$; ${}^{15}\text{R} = {}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}$.

On peut ainsi distinguer les animaux marins des terrestres, les herbivores des carnivores, les mangeurs de feuilles d'arbres (végétaux à photosynthèse en C3) des mangeurs d'herbes en savane (graminées et cypéracées à photosynthèse en C4). Cette méthode est aujourd'hui couramment utilisée en archéologie par l'étude du collagène conservé dans les ossements anciens. L'étude des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ a permis de déterminer la quantité de maïs (plante en C4) consommée par les populations archéologiques d'Amérique (VOGEL et VAN DE MERWE, 1977; VAN DER MERWE et VOGEL, 1978; BURLEIGH et BROTHWELL, 1978; BENDER *et al.*, 1981; VAN DER MERWE *et al.*, 1981; DENIRO et EPSTEIN, 1981; BOUTTON *et al.*, 1984; SCHWARCZ *et al.*, 1985; FARNSWORTH *et al.*, 1985; LYNOTT *et al.*, 1986; KATZENBERG, 1989; BUIKSTRA et MILNER, 1991) et la quantité de nourriture d'origine marine par rapport à la nourriture d'origine terrestre (TAUBER, 1981; CHISHOLM *et al.*, 1983; HOBSON et COLLIER 1984; SEALY et VAN DER MERWE, 1985, 1986, 1988; JOHANSEN *et al.*, 1986; NOE-NYGGARD, 1988); les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ ont permis de déterminer la quantité de plantes légumineuses consommée (DENIRO et EPSTEIN, 1981; SCHWARCZ *et al.*, 1985; FARNSWORTH *et al.*, 1985), en effet ces plantes sont fixatrices d'azote atmosphérique donc à valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ plus basses que les autres plantes (KOHL et SHEARER, 1980; MARIOTTI *et al.*, 1980).

Ainsi, l'utilisation conjointe des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ et de $\delta^{15}\text{N}$ permettent de déterminer le régime alimentaire de populations archéologiques (AMBROSE et DENIRO, 1986; DENIRO, 1987; WALKER et DENIRO, 1986).

ORIGINE DES ÉCHANTILLONS

Le matériel osseux ancien utilisé dans cette étude a deux origines différentes géographiquement et chronologiquement. Pour les premiers, il s'agit d'une série d'échantillons provenant de Genève (Suisse), sur le site des Rues Basses sur les bords du Lac Léman et dont la chronologie s'établit du II^{ème} siècle avant notre ère jusqu'au Moyen Age. Ce quartier se situait tout au bord du lac durant les premiers siècles de son occupation, il est actuellement en centre ville, éloigné de plusieurs centaines de mètres des rives du lac. Les ossements que nous avons prélevés parmi les restes fauniques très abondants proviennent des niveaux du second siècle avant notre ère et du premier quart du premier siècle de notre ère. Les restes osseux retrouvés et dont la fragmentation correspond principalement à une activité de boucherie ont été attribués en majorité à des espèces domestiques et à quelques espèces sauvages. Les espèces domestiques exploitées sont celles du cheptel classique: bœuf, porc, mouton, chèvre et équidés (cheval, mulet, âne). A ces animaux consommés nous devons ajouter le chien: les traces d'abattage ainsi que les traces de découpe et de décarnisation se retrouvent systématiquement sur les restes osseux. La basse-cour est essentiellement représentée par les gallinacés domestiques. Parmi les animaux chassés, cerfs et chevreuils sont les éléments prédominants, mais on retrouve également le sanglier, l'ours et quelques oiseaux tels que le cygne et le canard colvert. Pour ce site nous avons retenu et étudié des restes de: bœuf, porc, mouton, équidés (cheval) et chien, ceci pour la faune domestique. Une espèce sauvage a été étudiée, le chevreuil, ainsi qu'un poisson d'eau douce (liste dans le tableau 1).

Un site médiéval (XIII^{ème}-XIV^{ème} siècles) a d'autre part été retenu. Il s'agit d'une fouille dans une maison de vigneron, située Rue de Vignier, à Besançon dans le département du Doubs en France (OLIVE, 1990). Parmi les animaux consommés nous retrouvons les mêmes espèces du cheptel citées plus haut: bœuf, porc, mouton et chèvre, équidés. Le chat qui a été régulièrement consommé remplace le chien. La basse-cour est composée de poules, canards, oies et pigeons. L'activité cynégétique se traduit par la présence de restes de chevreuil, de sanglier, de lapin de garenne et de lièvre. La faune aviaire sauvage n'est représentée que par le choucas des tours et la chouette hulotte. A propos de ces deux derniers oiseaux, des livres de cuisine médiévale indiquent la manière de les attraper et de les accommoder, il n'est donc pas étonnant de les retrouver parmi des restes alimentaires. Les espèces domestiques étudiées sont le mouton, la chèvre, le cheval, le bœuf, le cochon, le chat, la poule; un lièvre et un poisson d'eau douce ont également été étudiés (liste dans le tableau 2).

Des restes humains ont été retrouvés dans les différents niveaux des deux sites, et nous ont permis de réaliser les analyses isotopiques pour déterminer le régime alimentaire des hommes ayant vécu aux différentes périodes signalées.

TECHNIQUES D'EXTRACTIONS ET D'ANALYSES ISOTOPIQUES

Les échantillons sont soigneusement nettoyés par grattage et passage aux ultra-sons dans l'eau distillée, avant d'être broyés jusqu'à une granulométrie inférieure à 0,7 mm. Le traitement se poursuit alors selon un protocole décrit par ailleurs (BOCHERENS *et al.*, 1991a). Le collagène lyophilisé est analysé pour sa composition isotopique selon une variante de la méthode Dumas: environ 5 mg de collagène est placé dans un tube en quartz scellé sous vide en présence de CuO et subit une combustion à plusieurs paliers de température dont le plus élevé est de 850°C; les gaz obtenus au cours de cette combustion (CO₂ et N₂) sont séparés cryogéniquement et les abondances isotopiques en ¹³C et en ¹⁵N sont alors mesurées sur des spectromètres de masse à source gazeuse, à double introduction pour comparaison quasi-instantanée entre l'échantillon et un étalon et équipés d'un système de collection multiple des ions (Finnigan Delta E ou VG Sira 9).

Les teneurs en carbone et azote de la matière organique ainsi extraite sont mesurées par analyse volumétrique des gaz. Il est ainsi aisé d'accéder à la mesure du rapport C/N de cette matière organique. Des analyses d'acides aminés ont été réalisées sur quelques échantillons pour vérifier la nature collagénique du matériel extrait.

Des extractions indépendantes suivies d'analyses isotopiques réalisées sur un os de vache actuelle (poudre homogène) donnent un écart-type de 0,10‰ pour δ¹³C et de 0,19‰ pour δ¹⁵N (17 mesures). Ces valeurs définissent la reproductibilité analytique de la détermination des valeurs de δ¹³C et de δ¹⁵N d'un os, incluant la phase d'extraction et d'analyse isotopique.

TABLEAU 1

Résultats obtenus sur les échantillons de la rue Vignier (Besançon, 14^{ème} siècle)

Espèce	Rendement mg. g ⁻¹	δ ¹³ C ‰	δ ¹⁵ N ‰	Echantillon
lièvre (<i>Lepus capensis</i>)	155	-21,8	+4,1	mandibule
bœuf (<i>Bos taurus</i>)	193	-22,2	+7,2	épiphyse phalange 1
cheval (<i>Equus caballus</i>)*	203	-22,0	+6,2	phalange 1
chèvre (<i>Capra hircus</i>)	167	-21,4	+5,7	épiphyse prox. métatarse
agneau (<i>Ovis aries</i>) ¹	96	-21,6	+9,3	diaphyse humérus
poule (<i>Gallus domesticus</i>)*	109	-16,4	+9,2	diaphyse tarso-metatarse
cochon (<i>Sus scrofa</i>)	135	-21,1	+6,2	diaphyse ulna
chat (<i>Felis catus</i>)	194	-19,8	+8,8	os coxal
perche ?	14	-20,5	+9,8	os operculaire
homme (<i>Homo sapiens</i>)*	25	-19,9	+12,7	épiphyse métatarsien 1

¹ néonatal

* échantillons dont les acides aminés ont été analysés (Figure 1).

TABLEAU 2

Résultats obtenus sur les échantillons de la rue Fontaine (Genève). La Tène (2000 ans)

Espèce	Rendement mg. g ⁻¹	$\delta^{13}\text{C}$ ‰	$\delta^{15}\text{N}$ ‰	Echantillon
mouton (<i>Ovis aries</i>)	123	-21,3	+8,1	diaphyse humérus
mouton (<i>Ovis aries</i>)	111	-21,6	+7,3	épiphyse prox. métacarpe
cheval (<i>Equus caballus</i>)*	162	-22,2	+6,5	os naviculaire
bœuf (<i>Bos taurus</i>)	166	-20,9	+6,1	épiphyse dist. radius
cochon (<i>Sus scrofa</i>)	131	-21,3	+7,7	épiphyse dist. humérus
chien (<i>Canis familiaris</i>)	78	-16,5	+8,6	mandibule
chevreuil (<i>Capreolus capreolus</i>)	185	-22,2	+1,3	bois
chevreuil (<i>Capreolus capreolus</i>)	224	-21,9	+1,7	pivot osseux
chevaine (<i>Squalius cephalus</i>)	143	-22,1	+11,9	os operculaire
homme (<i>Homo sapiens</i>)	85	-19,8	+9,5	scapula

* échantillon dont les acides aminés ont été analysés (Figure 1)

TABLEAU 3

Résultats obtenus sur des os actuels de France

Espèce	Origine	$\delta^{13}\text{C}$ ‰	$\delta^{15}\text{N}$ ‰	Echantillon
vache (<i>Bos taurus</i>)	Pyrénées	-21,9	+5,2	fémur
vache (<i>Bos taurus</i>)	Nièvre	-21,1	+5,6	radius
vache (<i>Bos taurus</i>)	Ile de France	-21,6	+4,7	fémur
cheval (<i>Equus caballus</i>)	Quercy	-21,4	+2,6	crâne
mouton (<i>Ovis aries</i>)	Pyrénées	-21,9	+4,3	mandibule
mouton (<i>Ovis aries</i>)	Pyrénées	-22,1	+4,8	vertèbre
sanglier (<i>Sus scrofa</i>)	Pyrénées	-20,7	+4,7	crâne
poulet (<i>Gallus domesticus</i>)	St Laurent les Eaux	-16,1	+4,8	crâne
coq (<i>Gallus domesticus</i>)	Seine-et-Marne	-21,8	+6,4	tarso-métatarse
hérisson (<i>Erinaceus europaeus</i>)	Seine-et-Marne	-20,8	+9,4	crâne
fouine (<i>Martes foina</i>)	Vincennes	-19,6	+9,6	fémur
genette (<i>Genetta genetta</i>)	Aveyron	-20,0	+10,8	crâne
loup (<i>Canis lupus</i>)		-17,0	+10,0	crâne
chat (<i>Felis catus</i>)	St Laurent les Eaux	-17,3	+8,5	crâne
loutre (<i>Lutra lutra</i>)	Toulouse	-19,8	+13,4	crâne

DISCUSSION DES RÉSULTATS

Rendements des échantillons archéologiques

Les rendements d'extraction du collagène obtenus pour les échantillons de Besançon vont de 14 à 203 mg. g⁻¹, ce qui correspond à une valeur moyenne de 129 mg. g⁻¹ ± 68.

Pour les échantillons de Genève, les valeurs de rendements vont de 78 à 224 mg. g⁻¹, soit une valeur moyenne de 141 mg. g⁻¹ ± 45.

Les rendements d'extraction présentent des variations plus importantes à Besançon qu'à Genève, mais ils sont du même ordre de grandeur dans les deux gisements, voire légèrement supérieurs dans le site le plus ancien. A titre de comparaison, les rendements obtenus sur des os actuels (60 extractions réalisées dans notre laboratoire à partir de poudres d'os supérieures à 0,4 g) avec la même méthode d'extraction vont de 100 à 284 mg. g⁻¹ avec une valeur moyenne de 205 mg. g⁻¹ ± 40; de telles valeurs sont tout à fait comparables à celles présentées par DENIRO et WEINER (1988) et par AMBROSE (1990). La conservation est donc très bonne, notamment pour le site de Genève bien qu'il soit plus ancien que le site de Besançon. On peut rapprocher ceci du fait que le dépôt semble s'être fait dans un sol humide ou au cours d'une immersion à Genève (OLIVE, 1989). Ceci montre encore une fois que la conservation du collagène dans les os archéologiques dépend plus des conditions bio-physico-chimiques de conservation dans les sites que de leur âge. Une étude systématique de ces conditions favorables à la conservation de la matière organique dans les os anciens reste cependant à faire.

Analyse des acides aminés de la matière organique extraite

Tous les échantillons de matière organique analysés montrent une composition en acides aminés similaire à celle de collagène extrait d'os actuel selon la même technique, même dans le cas de l'homme de Besançon qui présente pourtant un rendement d'extraction nettement plus faible que celui des autres échantillons du site (figure 1). Aucune différence significative n'est observable entre le collagène extrait d'os actuels ou anciens. Il semble donc que, pour les quantités obtenues, la qualité de la matière organique extraite ne dépende pas dans ce cas de la quantité extraite, ce qui a déjà été observé pour des spécimens bien plus anciens (BOCHERENS *et al.*, 1991a). Quand le collagène extrait des os archéologiques a conservé sa composition en acides aminés, les valeurs isotopiques obtenues peuvent être considérées comme reflétant celles des individus de leur vivant et n'ont pas dû subir d'altération post-mortem (DENIRO et WEINER, 1988).

Valeurs de $\delta^{13}C$

Globalement, ces valeurs correspondent à des chaînes alimentaires dont le maillon de base est constitué de plantes terrestres en C3, à part pour 2 exceptions que nous allons discuter plus loin. Les valeurs de $\delta^{13}C$ sont légèrement plus négatives pour les

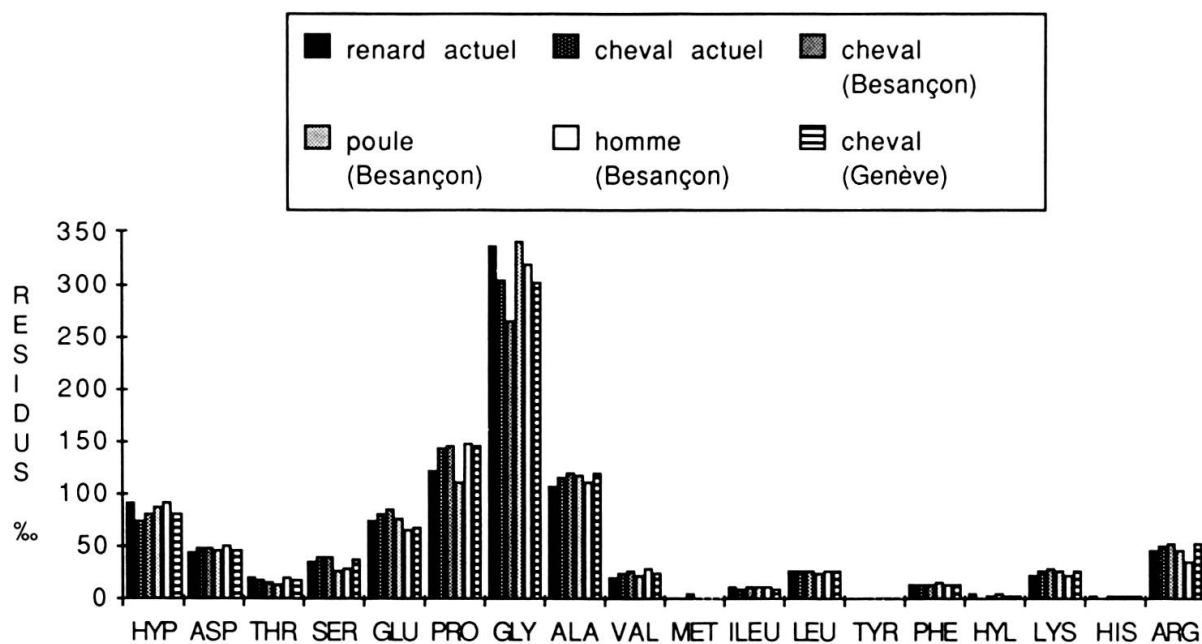


FIG. 1.

Histogramme de la composition en acides aminés de collagène extrait d'os actuels (renard et cheval) et d'os de Besançon et de Genève. Abréviations: HYP = hydroxyproline, ASP = acide aspartique, THR = thréonine, SER = sérine, GLU = acide glutamique, PRO = proline, GLY = glycine, ALA = alanine, VAL = valine, MET = méthionine, ILEU = isoleucine, LEU = leucine, TYR = tyrosine, PHE = phénylalanine, HYL = hydroxylysine, LYS = lysine, HIS = histidine, ARG = arginine.

herbivores que pour les carnivores dans chacun des gisements, ce qui se retrouve dans d'autres écosystèmes et pourrait correspondre à un léger fractionnement du carbone-13 au passage d'un niveau trophique au suivant, comme celui observé pour les mammifères du Kenya (SCHOENINGER, 1985). Le même phénomène a été observé pour un écosystème terrestre vieux de 40 000 ans (BOCHERENS *et al.*, 1991a). Les poissons analysés dans les deux sites ne présentent pas de valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ significativement différentes des espèces terrestres. On ne peut donc pas utiliser les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ pour différencier les écosystèmes terrestres et d'eau douce dans ce cas. Il en est de même pour la loutre actuelle (tableau 3).

Deux spécimens présentent cependant des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ qui ne correspondent pas aux valeurs des autres échantillons. La poule de Besançon présente un enrichissement en ^{13}C par rapport aux autres animaux de cette faune (tableau 1). Les graines de millet présentes en abondance dans le site ont sûrement constitué une partie de la nourriture de cette poule, le millet étant une plante à photosynthèse en C4 (BENDER, 1968). Des graines de millet actuel mesurées au laboratoire présentent une valeur de $\delta^{13}\text{C}$ de $-12,3\text{‰}$. Les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ du chat et de l'homme de ce gisement, un peu moins négatives que celles des autres vertébrés du site, peuvent s'expliquer par la consommation d'une part de viande ou d'œufs de poule. La valeur élevée de $\delta^{13}\text{C}$ du chien de Genève est plus énigmatique, elle ne semble pas liée à la consommation de

poisson du lac Léman, la valeur de $\delta^{13}\text{C}$ d'une chevaine du lac de la même époque étant identique à celle des herbivores terrestres. Il n'est pas exclu que ce carnivore, dont les restes proviennent des niveaux datés de 28 AD, ne soit pas indigène. On peut très bien concevoir qu'il ait été introduit dans la région lémanique par des commerçants ou des voyageurs et que son pays d'origine soit méditerranéen, région où la présence de plantes CAM et de nourriture animale d'origine marine pourrait expliquer la différence de valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ observées. Pour tester cette hypothèse, il reste à comparer la valeur de $\delta^{13}\text{C}$ des restes osseux appartenant à d'autres sujets, issus des mêmes niveaux et de niveaux plus anciens.

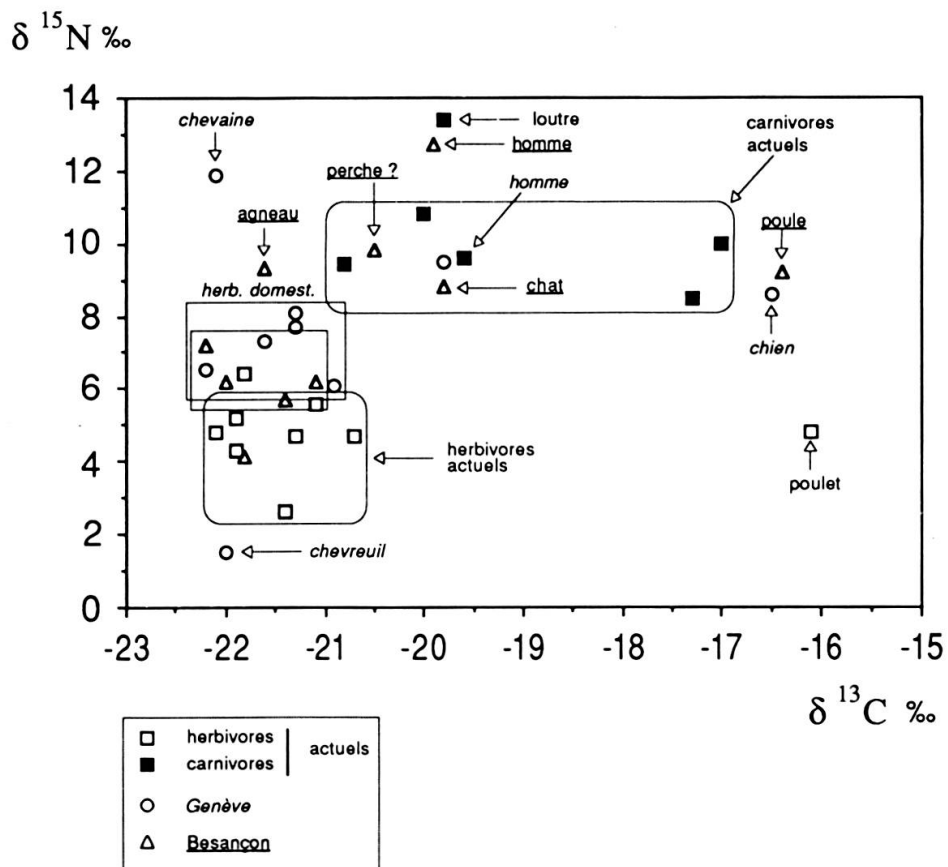


FIG. 2.

Diagramme des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ et de $\delta^{15}\text{N}$ du collagène extrait d'échantillons actuels, de Besançon et de Genève.

Valeurs de $\delta^{15}\text{N}$

Dans les deux gisements, les adultes des espèces herbivores présentent les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ les plus basses, ce qui correspond à ce qui a été trouvé dans les écosystèmes terrestres actuels (AMBROSE et DENIRO, 1986; SCHOENINGER, 1985; SCHOENINGER et DENIRO, 1984) et à ce que l'on observe pour les vertébrés d'Europe analysés dans cette étude (tableau 3). La moyenne des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ est légèrement plus basse à

Besançon (moyenne $\delta^{15}\text{N} = +5,8 \pm 1,3 \text{ ‰}$) qu'à Genève (moyenne $\delta^{15}\text{N} = +6,5 \pm 0,6 \text{ ‰}$) pour les espèces domestiques. Ces valeurs sont sensiblement plus élevées que celles mesurées sur des équivalents domestiques actuels de France (moyenne $\delta^{15}\text{N} = +4,5 \pm 1,0 \text{ ‰}$). Ces différences pourraient refléter l'impact des engrais azotés sur les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ des cultures (les engrais azotés fabriqués à partir de l'azote atmosphérique à $\delta^{15}\text{N} = 0 \text{ ‰}$ présentent des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ plus basses que les nitrates naturels; MARIOTTI, 1984b; RENNIE *et al.*, 1976). Notons le cas du chevreuil qui présente une valeur de $\delta^{15}\text{N}$ nettement plus basse que celles des herbivores domestiques de Genève, et le cas similaire du lièvre à Besançon. Nous disposons encore de trop peu de valeurs sur les herbivores pour savoir si cette différence est significative mais il est probable que les différences d'alimentation entre les herbivores sauvages et domestiques, notamment au niveau de l'apport protéique, doivent avoir une influence sur les compositions isotopiques en azote des animaux. Les cas des animaux non herbivores et des herbivores n'ayant pas les valeurs attendues méritent plus d'attention.

A Besançon, un échantillon d'agneau néonatal présente une valeur de $\delta^{15}\text{N}$ nettement plus élevée que celles des herbivores adultes, de l'ordre de celle attendue pour un carnivore. Or, les mammifères nourris par le lait maternel sont du point de vue trophique des consommateurs secondaires par rapport à leur mère. Il est donc normal de trouver une valeur de $\delta^{15}\text{N}$ élevée. Ce phénomène a déjà été décrit sur des bébés humains par FOGEL *et al.* (1989).

Les cochons sont, comme l'homme, des omnivores et leur valeur de $\delta^{15}\text{N}$ permet de déterminer la proportion de nourriture végétale consommée par les individus analysés. A Besançon, la valeur de $\delta^{15}\text{N}$ du spécimen analysé se situe dans l'intervalle de variation des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ des herbivores, ce qui suggère une alimentation essentiellement végétale. En revanche, le cochon de Genève présente une valeur de $\delta^{15}\text{N}$ plus élevée que celles des herbivores du gisement, ce qui indique une part d'alimentation carnée. Cette alimentation carnée peut provenir de compléments alimentaires donnés sous la forme de restes de cuisine des hommes, ainsi qu'il est commun de le faire pour des porcs élevés, non pas en troupeaux pâturant dans la campagne, mais engraisés près des habitations.

La poule de Besançon présente des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ élevées si on les compare à celles de gallinacés actuels; avait-elle consommé des vers et autres invertébrés tandis que la volaille actuelle (tableau 3) a une alimentation plus contrôlée par l'homme avec éventuellement des apports «exotiques» (maïs, par exemple, qui est une plante en C4). De nombreuses coquilles d'escargots ont été retrouvées parmi les restes alimentaires étudiés. Il n'est donc pas improbable que les poules de la rue de Vignier aient également consommé ces gastéropodes. On connaît bien l'attraction gourmande des gallinacés pour ces invertébrés. La volaille actuelle a une alimentation plus contrôlée par l'homme ne comportant pas toujours ces apports naturels.

Le chat de Besançon présente une valeur de $\delta^{15}\text{N}$ attendue pour un carnivore, comparable à celle d'un chat actuel. Il en est de même pour le chien de Genève.

Les poissons d'eau douce présentent des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ plus élevées que les animaux terrestres, ce qui caractérise des chaînes alimentaires plus longues en milieu aquatique qu'en milieu terrestre. Des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ élevées ont également été mesurées par KATZENBERG (1989) pour des poissons des grands lacs américains. La loutre actuelle présente elle aussi des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ élevées pour les mêmes raisons. Les chaînes alimentaires d'eau douce peuvent donc se différencier des chaînes alimentaires terrestres par des valeurs élevées en $\delta^{15}\text{N}$.

Le cas des hommes: L'homme présente une valeur de $\delta^{15}\text{N}$ de carnivore à Genève. Cette valeur plus faible que celle de la chevine laisse penser que la consommation de poissons du lac ne représentait pas une forte part dans son alimentation. A Besançon, la valeur de $\delta^{15}\text{N}$ de l'homme est très élevée, même par rapport à un carnivore avéré comme le chat. Ceci indique une nourriture provenant d'animaux à valeur de $\delta^{15}\text{N}$ élevée, c'est-à-dire de haut niveau trophique: viande de jeunes herbivores non encore sevrés, chat (consommation indiquée par des restes osseux montrant des traces d'incisions; OLIVE, 1990), oiseaux carnivores ou poisson (les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ de la loutre actuelle piscivore sont également plus élevées que celles des carnivores terrestres).

CONCLUSION

Les résultats obtenus sur la faune et les hommes des 2 sites étudiés semblent montrer une consommation de viande plus abondante à l'époque médiévale à Besançon qu'aux temps antiques à Genève. Des mesures complémentaires sur une population humaine plus complète devraient fournir des informations plus détaillées sur l'alimentation de ces populations.

Les perspectives ouvertes par l'utilisation de cette méthode sont grandes pour étudier l'évolution des écosystèmes agricoles et la quantification de la nourriture d'origine végétale, de viande d'animaux terrestres ou d'eau douce, consommée par les populations anciennes. De telles études ne sont pas limitées aux périodes médiévales et antiques; la préservation du collagène et de ses valeurs isotopiques dans des os vieux de 40 000 ans (BOCHERENS *et al.*, 1991a) permet d'envisager des études de ce genre pour tout le paléolithique supérieur en Europe, et probablement bien au-delà (BOCHERENS *et al.*, 1988, 1991b).

RÉFÉRENCES

- AMBROSE S. H. (1990). Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis. *Journal of Archaeological Science*, 17: 431-451.
- AMBROSE S. H. et M. J. DENIRO (1986). Reconstruction of African human diet using bone collagen carbon and nitrogen isotope ratios. *Nature*, 319: 321-324.
- BENDER M. M. (1968). Mass spectrometry studies of carbon-13 variations in corn and others grasses. *Radiocarbon*, 10: 468-472.
- BENDER M. M., D. A. BAERREIS et R. L. STEVENTON (1981). Further light on carbon isotopes and Hopewell agriculture. *American Archaeology*, 48(2): 346-353.

- BOCHERENS H., M. FIZET, J.-P. CUIF, J.-J. JAEGER, J. G. MICHARD et A. MARIOTTI (1988). Premières mesures d'abondances isotopiques naturelles en ^{13}C et ^{15}N de la matière organique fossile de Dinosaur. Application à l'étude du régime alimentaire du genre *Anatosaurus* (Ornithischia, Hadrosauridae). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, **306**: 1521-1525.
- BOCHERENS H., M. FIZET, A. MARIOTTI, B. LANGE-BADRÉ, B. VANDERMEERSCH, J. P. BOREL et G. BELLON (1991a). Isotopic biogeochemistry (^{13}C , ^{15}N) of fossil vertebrate collagen: implications for the study of fossil food web including Neandertal Man. *Journal of Human Evolution*, **20**: 481-492.
- BOCHERENS H., A. MARIOTTI, M. FIZET, J. P. BOREL et G. BELLON (1991b). Dinosaur diets as revealed by isotope biogeochemistry (^{13}C , ^{15}N) of bone fossil organic matter. In *Fifth Symposium on Mesozoic Terrestrial Ecosystems and Biota, Extended Abstracts*. Contributions from the Paleontological Museum, University of Oslo, n° 364: 7-8.
- BOUTTON T. W., P. D. KLEIN, M. J. LYNOTT, J. E. PRICE et L. L. TIESZEN (1984). Stable carbon isotope ratios as indicators of prehistoric human diet. In: *Stable isotopes in Nutrition*. Ed. by J. R. Turnlund and P. E. Johnson ACS Symposium Series, **258**: 191-204.
- BUKSTRA J. E. et G. R. MILNER (1991). Isotopic and archaeological interpretations of diet in the Central Mississippi Valley. *Journal of Archaeological Science*, **18**: 319-329.
- BURLEIGH R. et D. BROTHWELL (1978). Studies on Amerindian dogs, 1: Carbon isotopes in relation to maize in the diet of domestic dogs from early Peru and Ecuador. *Journal of Archaeological Science*, **5**: 355-362.
- CHISHOLM B. S., D. E. NELSON et H. P. SCHWARCZ (1983). Marine and terrestrial protein in Prehistoric diets on the British Columbia coast. *Current Anthropology*, **24** (3): 396-398.
- DEINES P. (1980). The isotopic composition of reduced organic carbon. In: *Handbook of environmental isotope geochemistry* P. Fritz et J. Ch. Fontes Eds Vol. 1 The terrestrial environment, A Elsevier: 329-406.
- DENIRO M. J. (1987). Stable isotopy and archaeology. *Am. Sci.* **75**: 182-191.
- DeNiro M. J. et S. Epstein (1978). Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **42**: 495-506.
- DENIRO M. J. et S. EPSTEIN (1981). Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **45**: 341-351.
- DENIRO M. J. et S. WEINER (1988). Chemical, enzymatic and spectroscopic characterization of "collagen" and other organic fractions from prehistoric bones. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **52**: 2197-2206.
- FARNSWORTH P., J. E. BRADY, M. J. DENIRO et R. S. MACNEISH (1985). A reevaluation of the isotopic and archaeological reconstructions of diet in the Tehuacan Valley. *American Antiquity*, **50**(1): 101-116.
- FOGEL M. L., N. TUROSS et D. W. OWSLEY (1989). Nitrogen isotope tracers of human lactation in modern and archeological populations. *Annual Report of the Director of the Geophysical Laboratory*, Carnegie Instn. Washington, 1988-1989: 111-117.
- HOBSON K. A. et S. COLLIER (1984). Marine and terrestrial protein in Australian Aboriginal diets. *Current Anthropology*, **25**(2): 238-240.
- JOHANSEN O. S., S. GULLIKSEN et R. NYDAL (1986). $\delta^{13}\text{C}$ and diet: analysis of Norwegian human skeletons. *Radiocarbon*, **28**(2A): 754-761.
- KATZENBERG M. A. (1989). Stable isotope analysis of archaeological faunal remains from Southern Ontario. *Journal of Archaeological Science*, **16**: 319-329.
- KOHL D. M. et SHEARER G. (1980). Isotopic fractionation associated with symbiotic N_2 -fixation and uptake of NO_3 -by plants. *Plant Physiology*, **66**: 51-56.
- LYNOTT M. J., T. W. BOUTTON, J. E. PRICE et D. E. NELSON (1986). Stable carbon isotopic evidence for maize agriculture in southeast Missouri and Northeast Arkansas. *American Antiquity*, **51**(1): 51-65.
- MARIOTTI A. (1984a). Natural ^{15}N abundance measurements and atmospheric nitrogen standard calibration. *Nature*, **311**: 251-252.

- MARIOTTI A. (1984b). Utilisation des variations naturelles d'abondances isotopiques en ^{15}N pour tracer l'origine des pollutions des aquifères par les nitrates. *Isotope Hydrology 1983*, International Atomic Energy Agency IAEA-SM 270/11: 605-633.
- MARIOTTI A., MARIOTTI F., AMARGER N., PIZELLE G., NGAMBI J. M., CHAMPIGNY M. L. et MOYSE A. (1980). Fractionnements isotopiques de l'azote lors des processus d'absorption des nitrates et de fixation de l'azote atmosphérique par les plantes. *Physiologie Végétale*, 18: 163-181.
- MINAGAWA M. et E. WADA (1984). Stepwise enrichment of N^{15} along food chains: further evidence and the relation between N^{15} and animal age. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48: 1135-1140.
- NOE-NYGGARD N. (1988). $\delta^{13}\text{C}$ -values of dog reveal the nature of changes in man's food resources at the Mesolithic-Neolithic transition, Denmark. *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)*, 73: 87-96.
- O'LEARY M. H. (1981). Carbon isotope fractionation in plants. *Phytochemistry*, 20(4): 553-567.
- OLIVE C. (1989). Les premiers ports de Genève, la faune. Premières observations sur la couche de La Tène D1. *Archéologie Suisse*, 12: 20-21.
- OLIVE C. (1990). L'alimentation carnée au XIVe siècle. *Musée des Beaux-Arts et d'Archéologie de Besançon*, 10 mars-10 juin 1990: 71-77.
- RENNIE D. A., E. A. PAUL et L. E. JOHNS (1976). Natural nitrogen-15 abundance of soil and plant samples. *Can. J. Soil Sci.*, 56: 43-50.
- SCHOENINGER M. J. (1985). Trophic level effects on $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios in bone collagen and strontium levels in bone mineral. *Journal of Human Evolution*, 14: 515-523.
- 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.
- SCHWARCZ H. P., J. MELBYE, M. A. KATZENBERG et M. KNYF (1985). Stable isotopes in Human skeletons of Southern Ontario: reconstructing palaeodiet. *Journal of Archaeological Science*, 12: 187-206.
- SEALY J. C. et N. J. VAN DER MERWE (1985). Isotope assessment of Holocene human diets in the southwestern Cape, South Africa. *Nature*, 315: 138-140.
- SEALY J. C. et N. J. VAN DER MERWE (1986). Isotope assessment and the seasonal-mobility hypothesis in the Southwestern Cape of South Africa. *Current Anthropology*, 27(2): 135-150.
- SEALY J. C. et N. J. VAN DER MERWE (1988). Social, spatial and chronological patterning in marine food use as determined by $\delta^{13}\text{C}$ measurements on Holocene human skeletons from the south-western Cape, South Africa. *World Archaeology*, 20(1): 87-102.
- SMITH B. N. et S. EPSTEIN (1971). Two categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios for higher plants. *Plant Physiology*, 47: 380-384.
- TAUBER H. (1981). ^{13}C evidence for dietary habits of prehistoric man in Denmark. *Nature*, 292: 332-333.
- VAN DER MERWE N. J., A. C. ROOSEVELT et J. C. VOGEL (1981). Isotopic evidence for prehistoric subsistence change at Parmana, Venezuela. *Nature*, 292: 536-538.
- VAN DER MERWE N. J. et J. C. VOGEL (1978). ^{13}C content of human collagen as a measure of prehistoric diet in woodland North America. *Nature*, 276: 815-816.
- VOGEL J. C. (1978). Isotopic assessment of the dietary habits of ungulates. *South African Journal of Science*, 74: 298-301.
- VOGEL J. C. et N. J. VAN DER MERWE (1977). Isotopic evidence for early maize cultivation in New York State. *American Antiquity*, 42(2): 238-242.
- WALKER P. L. et M. J. DENIRO (1986). Stable nitrogen and carbon isotope ratios in bone collagen as indices of prehistoric dietary dependence on marine and terrestrial resources in Southern California. *American Journal of Physical Anthropology*, 71: 21-61.