

Émergence de la production laitière au Néolithique ? Contribution de l'analyse isotopique d'ossements de bovins archéologiques

Emergence of dairy production in the Neolithic? Contribution of isotopic analysis of cattle archaeological bones

Marie BALASSE^{1, 2*}, Hervé BOCHERENS¹, Anne TRESSET², André MARIOTTI¹ et Jean-Denis VIGNE²

¹ Laboratoire de biogéochimie isotopique, UMR 162, CNRS-INRA-Université Paris VI, Case 120, 4, place Jussieu, 75252 Paris cedex 05, France ;

² Laboratoire d'anatomie comparée, Archéozoologie et histoire des sociétés, CNRS URA 1415, Muséum national d'histoire naturelle, 55, rue Buffon, 75005 Paris, France

RÉSUMÉ

L'étude de la variabilité intra-individuelle de la composition isotopique en azote du collagène osseux sur une série de mandibules de bœuf du site néolithique de Bercy (Paris, début du IV^e millénaire av. J.-C.) a montré que les jeunes bovins y étaient sevrés à un âge compris entre 6 mois et 1 an. Ce résultat ne contredit pas l'interprétation du pic de mortalité des individus âgés de 6 à 12 mois, mis en évidence sur le profil d'abattage des bovins de ce site, comme un pic d'abattage « post-lactation », qui pourrait être l'indice de l'orientation de l'économie vers l'exploitation du lait.

Mots clés : Production laitière, Néolithique, Bos taurus, Sevrage, Collagène, Azote-15, Variabilité intra-individuelle

ABSTRACT

A study of intra-individual variability of nitrogen isotopic composition of bone collagen from cattle mandibles from the neolithic site of Bercy (Paris, IVth millenium BC) showed that the young bovines were weaned at an age between 6 and 12 months old. The examination of the mortality profile shows that the young were slaughtered at this age. The obtained results do not contradict the 'post-lactation' peak hypothesis, which could be the evidence for an economy oriented towards dairy production.

Keywords: Dairy, Neolithic, Bos taurus, Weaning, Collagen, Nitrogen-15, Intra-individual variability

Abridged version (see p. 1009)

I. Introduction

L'opportunité est aujourd'hui offerte de reconsidérer l'éventuelle exploitation du lait dès le Néolithique ancien et moyen en Europe centrale et occidentale (Sherratt, 1981 ; Chapman, 1982 ; Bogucki, 1984). En effet, l'idée selon laquelle les économies laitières préhistoriques peuvent être caractérisées par un fort abattage des jeunes

bovins au moment du sevrage (Peske, 1994) est relancée par la mise en évidence, sur des courbes d'abattage de bovins établies de façon très précise à partir des restes dentaires, d'une très forte représentation des individus âgés de 6 à 12 mois : c'est le cas notamment sur le site néolithique de Bercy (Tresset, 1996). Cette interprétation du pic d'abattage demande à être validée par la détermination de l'âge au sevrage des bovins de ces sites néolithi-

Note présentée par Yves Coppens

Note remise le 17 juillet 1997, acceptée le 22 septembre 1997

* E-mail : balasse@ccr.jussieu.fr

ques. C'est ce que nous avons entrepris de faire, en appliquant à l'étude des ossements, conjointement aux méthodes traditionnelles de l'archéozoologie (Davis, 1987 ; Méniel et Chaix, 1996), la biogéochimie isotopique.

Cette méthodologie est appliquée depuis une vingtaine d'années à l'étude du régime alimentaire de populations fossiles animales et humaines (Van der Merwe et Vogel, 1978 ; Koch et al., 1994). Jusqu'à présent, les compositions isotopiques des tissus ont été utilisées comme des valeurs moyennes, intégrant les caractéristiques de l'alimentation sur une durée plus ou moins longue selon le taux de renouvellement des tissus analysés (Klepinger, 1984). Le renouvellement du collagène se fait au rythme de la croissance et du remaniement des tissus osseux, qui n'affectent pas au même moment les différentes parties du squelette, ni les différentes régions d'un même os. Ainsi, à la suite d'un changement de régime alimentaire accompagné d'une modification de signature isotopique, différentes parties d'un même élément squelettique pourront, pendant un temps, présenter des compositions isotopiques différentes. Cette variabilité intra-individuelle peut révéler un changement alimentaire, tel le sevrage. En effet, lors de cette étape du développement, se produit un saut de niveau trophique, qui s'accompagne d'un changement dans la composition isotopique en azote ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) du collagène synthétisé (Schoeninger et Deniro, 1984 ; Fogel et al., 1989 ; Katzenberg et al., 1996). A l'échelle d'une population, une étude de la variabilité intra-individuelle sur des ossements d'individus morts à des âges différents devrait permettre de déterminer l'âge auquel le sevrage peut être mis en évidence, tout en s'affranchissant de la variabilité interindividuelle.

II. Matériel et méthode

Le matériel archéologique est constitué d'hémimandibules de bœuf du site de Bercy (Paris, Néolithique moyen, tout début du IV^e millénaire av. J.-C.). Le collagène des ossements de mammifères trouvés dans le chenal de ce site présente un bon état de conservation (Bocherens et al., 1997). Nous avons analysé 18 individus appartenant à différentes classes d'âge : 11 d'entre eux sont âgés de moins de 2 ans, les autres sont des adultes âgés de 2 ans à plus de 9 ans. Leur âge est exprimé en stades d'éruption et d'usure dentaires (Balasse, 1996), afin de rendre plus aisées d'éventuelles comparaisons avec des résultats obtenus pour d'autres collections. Le matériel de comparaison actuel est constitué d'une mandibule de taurillon charolais, provenant de la ferme expérimentale des Éta-blières (Vendée).

Les mandibules archéologiques, qui avaient préalablement été lavées à l'eau, ont à nouveau été nettoyées à sec. La mandibule actuelle a été décharnée, a bouilli pendant 24 heures, puis a été nettoyée dans un bain de protéase (papaine) – cette attaque n'est pas suffisamment forte pour altérer le collagène. Des prélèvements d'os de 1 à 2 cm³ ont été effectués sur la face vestibulaire de l'os mandibu-

laire. Ces échantillons ont été débarrassés de leur partie spongieuse, ainsi que de l'os de la surface externe sur une épaisseur d'environ 2 mm. L'os a été broyé en une poudre de granulométrie inférieure à 0,7 mm ; l'extraction du collagène a suivi le protocole décrit par Bocherens et al. (1991). La dent actuelle a été déminéralisée dans une solution d'EDTA (0,5 M, pH = 7,4). Les échantillons prélevés au scalpel sur le fantôme de collagène ainsi obtenu ont été homogénéisés par solubilisation (HCl 10⁻² M, 100 °C, 17 heures), filtrés, puis lyophilisés. Les deux méthodes d'extraction utilisées pour l'os et pour la dentine donnent des résultats similaires (Bocherens et al., 1996).

La composition isotopique en azote du collagène, exprimée par la notation $\delta^{15}\text{N}$ (‰), a été mesurée suivant la procédure décrite dans Rodière et al. (1996), avec une précision analytique de 0,2 ‰.

III. Résultats et discussion

Stratégie d'échantillonnage : les résultats obtenus sur le matériel actuel

Avant d'échantillonner le matériel archéologique, nous avons testé sur du matériel actuel la pertinence de la stratégie d'échantillonnage qui devait permettre de détecter un changement de régime alimentaire. De l'os de la mandibule d'un taurillon abattu sept mois après son sevrage, a été prélevé au niveau de la première molaire (os-M1), et du bourgeon dentaire (os-bd). La zone (os-bd), qui doit être remodelée afin de laisser sortir la dent en formation, était présumée à renouvellement rapide ; la zone (os-M1) était présumée plus stable. Afin de mesurer les signatures isotopiques caractéristiques des régimes pré- et post-sevrage pour cet individu, nous avons analysé le collagène des 8 mm supérieurs (échantillonnage H) et inférieurs (échantillonnage B) de la deuxième molaire (M2). La dentine, une fois formée, n'est plus remaniée, et le collagène y conserve un signal isotopique imposé par le régime alimentaire du moment de sa formation. La M2 commence à se former au cours des deux premiers mois de la vie de l'individu, avant le sevrage : le collagène de la partie supérieure d'une M2 non ou peu usée devrait ainsi avoir une signature isotopique liée au régime lacté. Le bas de la dent, quant à lui, encore en croissance au moment de la mort, a été formé à partir du régime alimentaire adulte, et devrait présenter un signal isotopique lié au régime herbivore. Les résultats des analyses du collagène de l'os et de la dentine sont rassemblés dans le tableau I et sur la figure 1.

Les analyses pratiquées sur les dents montrent que, chez cet individu, le $\delta^{15}\text{N}$ du collagène formé sur le régime lacté a une valeur de 7,9 ‰, tandis que le $\delta^{15}\text{N}$ imposé par le régime herbivore est de 5,2 ‰. Le collagène extrait des deux zones prélevées sur l'os a des valeurs comprises entre ces extrêmes. Cela révèle la persistance d'une part du collagène synthétisé avant le sevrage. Le collagène de l'os-M1 ($\delta^{15}\text{N} = 6,6$ ‰) est enrichi en ^{15}N par rapport au collagène de l'os-bd ($\delta^{15}\text{N} = 5,9$ ‰), ce qui signifie que la

Tableau I. Rendements d'extraction (R), teneurs en carbone, en azote, C/N et valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) (du collagène extrait de l'os et de la dentine du taurillon actuel.

Extraction yields (R); amounts of carbon, nitrogen; ratio and C/N and $\delta^{15}\text{N}$ (‰) values of bone and dentine collagen from the modern steer.

N°	R (mg/g)	% C	% N	C/N	$\delta^{15}\text{N}$
os-M1	198	43,6	15,5	3,3	6,6
os-bd	197	41,5	15,2	3,2	5,9
M2-H	nd	38,7	14,3	3,2	7,9
M2-B	nd	39,3	14,2	3,2	5,2

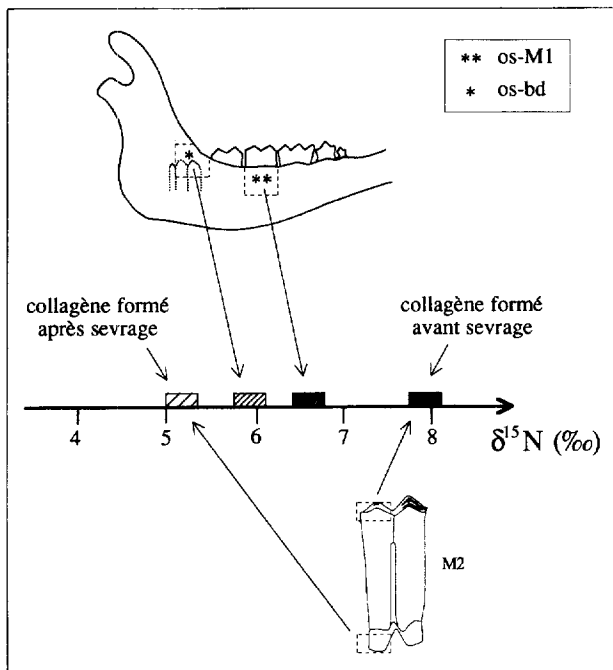


Figure 1. Variabilité intra-individuelle chez un taurillon actuel : comparaison des compositions isotopiques du collagène extrait en différentes parties de l'os mandibulaire et de la dentine de la deuxième molaire. La largeur des symboles utilisés tient compte de l'erreur analytique.

Comparison of the isotopic composition of collagen extracted from different parts of the mandibular bone and from the dentine of the second molar in a modern steer. The width of the symbols expresses analytical error.

part du collagène présevrage est moins importante dans l'os prélevé au niveau du bourgeon dentaire. La différence de composition isotopique entre les deux zones de prélèvement est l'expression du changement de régime alimentaire qui a eu lieu lors du sevrage.

Le matériel archéologique : détermination de l'âge au sevrage

Nous avons appliqué la même stratégie d'échantillonnage au matériel archéologique. Les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau II. La quantité et la qualité biochimique de la matière extraite permettent de l'identifier

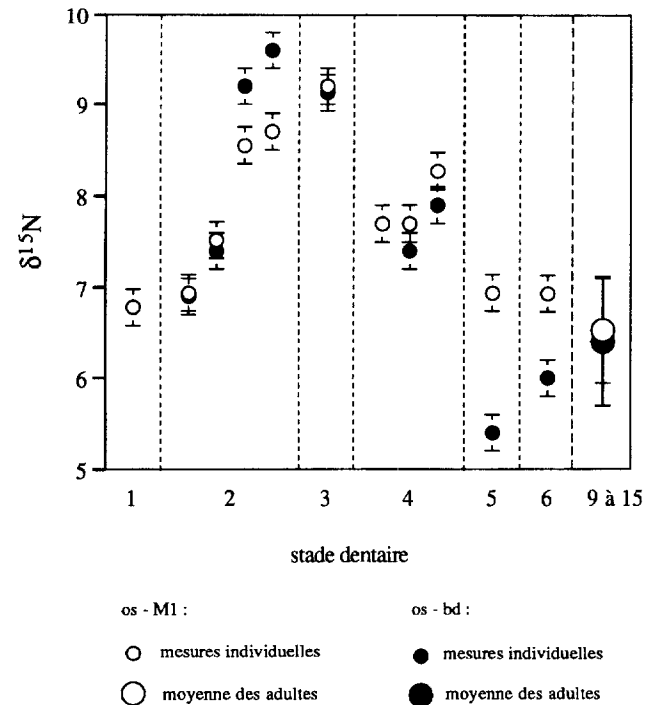


Figure 2. Variation, en fonction de l'âge, de la composition isotopique du collagène de l'os prélevé au niveau de la première molaire et au niveau du bourgeon dentaire, sur les mandibules archéologiques. Au sein de chaque stade dentaire, le classement est fait d'après l'usure dentaire. La barre d'erreur figure l'erreur analytique pour les stades dentaires 1 à 6, l'écart type des mesures individuelles pour les stades 9 à 15.

Variation of the isotopic composition of collagen from archaeological mandibles, as a function of age. Within each dental stage, the classification was performed by the examination of dental wear. Collagen was sampled from the first molar region (white symbols), and from the dental bud region (black symbols). The error bar represents the analytical error for dental stages 1–6, and standard deviation for stages 9–15.

comme étant du collagène : les rendements d'extraction sont élevés (de 23 à 140 mg collagène/g os), les teneurs en C_{org} (comprises entre 40,4 % et 43,4 %), en N (comprises entre 14,8 % et 15,8 %) et les C/N sont comparables à ceux obtenus sur le matériel actuel. Les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ varient entre 5,5 ‰ et 8,7 ‰ pour l'os-M1 et entre 5,3 ‰ et 9,6 ‰ pour l'os-bd. En ces deux zones de prélèvement, les plus jeunes individus (stades dentaires 1 à 4 compris) ont un $\delta^{15}\text{N}$ très significativement plus élevé que celui des individus plus âgés (test t de Student ; $p < 0,01$).

Les variations en fonction de l'âge du $\delta^{15}\text{N}$ du collagène des deux zones prélevées sont superposées sur la figure 2. L'intervalle de variation des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ obtenues pour l'ensemble de la population analysée est supérieur à 3 ‰ pour le prélèvement situé au niveau de M1, et supérieur à 4 ‰ pour celui pratiqué au niveau du bourgeon dentaire. Cette forte variabilité est dans la gamme de l'enrichissement systématique de 3 ‰, mesuré à chaque saut de niveau trophique (Schoeninger et Deniro, 1984), et les valeurs élevées de $\delta^{15}\text{N}$ chez les jeunes sont vraisemblablement l'expression d'un message isotopique pré-

Tableau II. Rendements d'extraction (R), teneurs en carbone, en azote, C/N et valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) du collagène extrait de l'os des mandibules archéologiques. L'âge est exprimé en stade dentaire ; une estimation de l'âge physiologique est proposé à titre indicatif (m = mois ; a = ans).

Extraction yields (R); amounts of carbon, nitrogen; ratio C/N and $\delta^{15}\text{N}$ (‰) values of collagen from archaeological bones. The age is expressed in dental, stage: an estimation of physiological age is also indicated (m = months; a = years).

N°	Stade dentaire	Âge	Os prélevé au niveau de M1					Os prélevé au niveau du bd				
			R (mg/g)	% C	% N	C/N	$\delta^{15}\text{N}$	R (mg/g)	% C	% N	C/N	$\delta^{15}\text{N}$
8 000	1	< 6 m	44	42,0	15,4	3,2	6,8	44	42,0	15,4	3,2	6,8
9 000	2	6 m ⁺	nd	40,5	15,0	3,1	7,5	111	42,6	15,7	3,2	7,4
25 000	2	6 m ⁺	92	42,6	15,7	3,2	8,6	91	42,0	15,5	3,2	9,2
20 000	2	6 m ⁺	89	40,5	15,0	3,2	6,9	88	42,7	15,6	3,2	6,9
10 000	2	6 m ⁺	92	41,8	15,3	3,2	8,7	79	42,6	15,7	3,2	9,6
23 000	3	6 m ⁺⁺	68	40,9	15,1	3,2	9,2	71	41,1	15,1	3,2	9,1
28 000	4	12 m ⁻	89	42,3	15,6	3,2	7,7	96	42,8	15,8	3,2	7,7
19 000	4	12 m ⁻	108	40,6	15,0	3,2	8,3	101	42,1	15,5	3,2	7,9
29 000	4	12 m ⁻	93	42,1	15,5	3,2	7,7	90	43,0	15,8	3,2	7,4
33 000	5	18 m	56	42,0	15,4	3,2	6,9	59	42,1	15,4	3,2	5,4
35 000	6	18-24 m	78	42,7	15,8	3,2	6,9	128	43,4	16,0	3,2	6,0
57 000	9	3a ⁻	118	40,4	14,8	3,2	6,7	62	41,0	15,1	3,2	6,6
68 000	10	3-4 a	95	42,1	15,5	3,2	6,1	124	43,1	15,8	3,2	6,1
71 000	10	3-4 a	104	43,2	16,0	3,1	6,4	126	41,8	15,4	3,2	5,9
77 000	11	4-5 a	128	42,9	15,8	3,2	6,8	140	43,0	15,8	3,2	6,9
78 000	11	4-5 a	124	42,3	15,5	3,2	7,5	92	42,5	15,7	3,2	7,6
86 000	13	7-9 a	67	41,5	15,3	3,2	5,5	23	40,6	15,1	3,1	5,3
89 000	15	> 9 a	137	41,0	15,2	3,1	6,8	109	42,0	15,6	3,1	6,4

sevrage. Comme cela a été observé chez les humains (Fogel et al., 1989), les plus jeunes individus présentent des valeurs basses de $\delta^{15}\text{N}$, comparables à celles des adultes : elles seraient l'expression d'un message isotopique acquis durant la période prénatale.

Chez les individus de stade dentaire 2, les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ sont élevées (atteignant 8,7 ‰ pour l'os-M1 et 9,6 ‰ pour l'os-bd, les moyennes des valeurs pour les sujets adultes – stades 9 à 15 – étant respectivement de 6,5 ‰ et 6,4 ‰), et le $\delta^{15}\text{N}$ du collagène de l'os-bd est similaire ou supérieur au $\delta^{15}\text{N}$ du collagène de l'os-M1. La cinétique d'accumulation du collagène nouvellement synthétisé étant plus rapide dans l'os-bd que dans l'os-M1, le changement de régime alimentaire, mis en évidence ici, s'est fait à la faveur d'une alimentation plus riche en ^{15}N : il s'agirait, selon toute vraisemblance, du passage du régime prénatal au régime lacté. L'individu de stade dentaire 3 présente des valeurs élevées de $\delta^{15}\text{N}$ (os-M1 : 9,2 ‰ et os-bd : 9,1 ‰), similaires pour les deux zones prélevées : nous reviendrons sur l'interprétation de ce résultat.

Chez les individus de stade dentaire 4, les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ sont encore relativement élevées (entre 7,7 ‰ et 8,3 ‰ pour os-M1, et entre 7,4 ‰ et 7,9 ‰ pour os-bd) par rapport à celles des adultes, mais plus basses que celles de l'individu de stade dentaire 3 (appauvrissement de 1,3 ‰ sur la moyenne des valeurs pour os-M1 ; de 1,4 ‰ pour os-bd). Cet appauvrissement n'est pas imputable à une variabilité interindividuelle, car on observe d'autre part que le $\delta^{15}\text{N}$ du collagène de l'os-bd tend à être légèrement appauvri en ^{15}N par rapport à celui de l'os-M1 ; cela illustre l'incorporation de collagène nouvellement synthétisé, à $\delta^{15}\text{N}$ plus bas, qui est plus volumineuse

dans l'os-bd, où le taux de renouvellement est plus important : le passage de l'alimentation lactée au régime herbivore a déjà eu lieu. L'écart entre les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ pour les deux zones de prélèvement s'accroît (stade dentaire 5), puis se réduit jusqu'à s'annuler (stade dentaire 6 et suivants).

Dans ce modèle d'évolution, l'individu de stade dentaire 3 présente une ambiguïté. Soit le sujet continue à être allaité et l'incorporation du collagène enrichi en ^{15}N s'est poursuivie, permettant au $\delta^{15}\text{N}$ de l'os-M1 de « rattraper » celui de l'os-bd ; soit le sujet est sevré, et l'incorporation rapide de collagène pauvre en ^{15}N (régime herbivore) dans l'os-bd abaisse son $\delta^{15}\text{N}$ jusqu'à la valeur de celui du collagène de l'os-M1. Il est difficile de conclure pour cet individu.

Implications archéologiques

Le sevrage des bovins de Bercy semble avoir eu lieu entre les stades dentaires 2 et 4, ce qui correspondrait à un âge compris entre 6 mois et 1 an. Ce résultat est cohérent, sachant qu'un veau d'élevage traditionnel peut être sevré, sans l'intervention de l'homme, entre 4 et 9 mois. La courbe d'abattage des bovins de Bercy (Tresset, 1996) présente un pic d'abattage des individus âgés de 6 à 12 mois. D'après les résultats de notre étude, il semblerait que cet abattage ait lieu précisément au moment du passage du régime lacté au régime herbivore, c'est-à-dire en fin de lactation, alors que la vache ne produit plus beaucoup de lait. Une telle stratégie d'abattage pourrait être justifiée par une orientation de l'économie de subsistance vers la production de lait.

IV. Conclusion

L'analyse isotopique des ossements de Bercy a permis, par une étude exploitant la variabilité intra-individuelle, de déterminer que les bovins de ce site étaient sevrés à un âge compris entre plus de 6 mois et moins de 1 an. Ce résultat est en accord avec l'hypothèse d'un abattage « post-lactation », qui pourrait être l'indice, sur ce site du Néolithique moyen, de l'exploitation du bétail en vue de la production de lait. L'âge du sevrage des espèces laitières

domestiques aux temps préhistoriques constitue en lui-même un paramètre zootechnique extrêmement intéressant. Il pourrait être déterminé de façon plus précise par une analyse fine des variations du $\delta^{15}\text{N}$ du collagène de la dentine sur toute la hauteur d'une dent formée durant la première année de la vie de l'individu. Par le croisement des données isotopiques avec celles d'une étude histologique, il pourrait alors être possible de déterminer quel était l'état de croissance de la dent au moment du sevrage et de rattacher ce dernier à un âge physiologique.

ABRIDGED VERSION

Discussions on the question of milk exploitation as early as Neolithic times (Sherratt, 1981; Chapman, 1982; Bogucki, 1984) have recently led to the idea that prehistoric economies oriented towards dairy production were characterized by a 'post-lactation' slaughtering peak (Peske, 1994). Such a peak is present on bovine slaughter curves from different Neolithic sites from Bassin Parisien, such as Bercy (Tresset, 1996). The aim of this isotopic biogeochemistry study is to determine if the slaughtering of calves actually occurred around the age of weaning.

Isotopic biogeochemistry has been used for about 20 years to study the diet of ancient populations (e.g. Van der Merwe and Vogel, 1978; Koch et al., 1994). So far the isotopic compositions have always been used, as reflecting an average of lifetime diet. The frequency of isotopic signals depends on the turnover rate of the analyzed tissue (Klepinger, 1984). Collagen is not renewed at the same rate in different parts of the skeleton, nor in different parts of a bone, so that after a change of diet coupled to a change of isotopic signal, different parts of a bone might, during a time, show different isotopic compositions. This intra-individual variability can be used to highlight a dietary change, such as weaning. Indeed, during this stage of the development, a step down from one trophic level to another occurs, which is characterized by a change in the nitrogen isotopic composition ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) of the synthesized collagen (Schoeninger and Deniro, 1984; Fogel et al., 1989; Katzenberg et al., 1996). At the population level, such a study of intra-individual variability could provide information about the age at which weaning occurred, while erasing inter-individual variability.

The studied material comes from the Bercy site (Paris, Middle Neolithic, very beginning of the IVth millennium BC). The mammal remains from the paleochannel of this site were in a good state of preservation (Bocherens et al., 1997). The 18 bovine mandibles analyzed were essentially young individuals, but also adults from 2 to more than 9 years old. Their age is expressed in dental stage (Balasse, 1996). One modern mandible, coming from an experimental farm and belonging to a steer slaughtered 7 months after weaning, was also analyzed as a comparison material. Archaeological mandibles were cleaned. The modern bone was boiled, and cleaned by an enzymatic treatment. After the external part of the bone (2 mm) and the spongiosa had been removed, bone was ground. The modern tooth was demineralized in an EDTA solution. Col-

lagen was extracted from dentine and bone following Bocherens et al. (1991), and its isotopic composition ($\delta^{15}\text{N}$) was measured by mass spectrometry (Rodière et al., 1996). The analytical precision is 0.2‰.

Bone from the modern mandible was sampled in the first molar region (M1-bone) and in the dental bud region (db-bone). The latter zone is being remodelled for the dental bud to erupt and collagen from this zone was expected to be rapidly renewed, whereas the first molar region was expected to be more stable. Dentine collagen from the upper and the lower parts of the second molar (M2) was also analyzed. Dentine, once laid down, is not renewed, so that the isotopic composition of the collagen from the upper part of the crown is linked to the milky diet, whereas the collagen from the lower part of the root has been synthesized from the herbivorous diet. The results of bone and dentine collagen analysis (table I and figure 1) show that the $\delta^{15}\text{N}$ values for the collagen extracted from M1-bone ($\delta^{15}\text{N} = 6.6\text{‰}$) and db-bone ($\delta^{15}\text{N} = 5.9\text{‰}$) range between the extreme $\delta^{15}\text{N}$ values given by the dentine collagen for milky and herbivorous diets (respectively 7.9 and 5.2‰). That means that the proportion of collagen synthesized before weaning is less important in the dental bud region. The difference in the isotopic composition of the collagen from the two bone samples is the expression of the change of diet that occurs at weaning time.

This sampling strategy has been applied to the archaeological bones. The amount and the quality of the extracted product identify it as collagen (table II). The $\delta^{15}\text{N}$ values range from 5.5 to 8.7‰ for M1-bone, and from 5.2 to 9.6‰ for db-bone. For both sampling zones the youngest subjects (dental stages 1–4) have significantly higher $\delta^{15}\text{N}$ values than those of the adults (Student t test, $p < 0.01$). The large variation interval of the $\delta^{15}\text{N}$ values obtained for the whole population analyzed ($> 3\text{‰}$ for M1-bone, and $> 4\text{‰}$ for db-bone) is within the range of the enrichment measured at each trophic step (3‰, Schoeninger and Deniro, 1984), and the high $\delta^{15}\text{N}$ of young individuals corresponds to an ante-weaning isotopic signal. As has been shown for humans (Fogel et al., 1989), the youngest calves have low $\delta^{15}\text{N}$, similar to those of the adults; these values could express a prenatal isotopic signal.

At dental stage 2, $\delta^{15}\text{N}$ values are high (reaching 8.7‰ for M1-bone and 9.6‰ for db-bone, whereas the average values for adults — stages 9–15 — are respectively 6.5 and 6.4‰) and the $\delta^{15}\text{N}$ of db-bone is similar to or higher than the $\delta^{15}\text{N}$ of

M1-bone; this isotopic difference might reflect the passage from the prenatal diet to the milky diet. At dental stage 3, the $\delta^{15}\text{N}$ values for the two samples are similar; this point will be discussed later.

At dental stage 4, the $\delta^{15}\text{N}$ are still high (M1-bone: from 7.7 to 8.3‰; db-bone: from 7.4 to 7.9‰) but the $\delta^{15}\text{N}$ of db-bone is similar to or lower than the $\delta^{15}\text{N}$ of M1-bone; the individuals are weaned. The accumulation of new collagen with a lower $\delta^{15}\text{N}$ is greater in the db-bone, so the difference of isotopic composition for the two samples becomes more and more pronounced (stage 5), then is reduced and disappears (stage 6 onwards).

In this interpretation scheme, the result concerning the individual from dental stage 3 is ambiguous. The calf may still be suckling, and the incorporation of ^{15}N -enriched collagen would have been continuing, so that the $\delta^{15}\text{N}$ value of M1-bone would have gone up to that of db-bone; on the other

hand the calf might be already weaned, and the incorporation of ^{15}N -depleted collagen would have occurred, so that the $\delta^{15}\text{N}$ values of db-bone has decreased to values similar to those of M1-bone. No firm conclusion was made about this individual.

It seems that the bovines from Bercy were weaned between dental stage 2 and dental stage 4, and that would mean that weaning occurred at an age between 6 and 12 months old. The archaeozoological study showed that the young were slaughtered at this age (Tresset, 1996). The obtained results are in agreement with the 'post-lactation' peak hypothesis. This could be the sign of a dairy production oriented economy, for the Neolithic site of Bercy. A more accurate determination of weaning age could be performed by a study of the nitrogen isotopic variations at the level of a tooth that would have grown during the first year of life. Such a study should then be coupled with a histological investigation.

Remerciements : Nous remercions F. Poplin, qui nous a mis en contact avec la ferme des Établières et A. Jouly et J. Molte pour leur accueil ; Y. Lanchon, qui nous a confié le matériel archéologique ; M. Grably, D. Billiou, G. Bardoux, E. Pellé et P. Fiquet pour leur assistance technique, et le CNRS pour son soutien financier.

RÉFÉRENCES

- Balasse M. 1996. La détermination de l'âge au sevrage des bœufs néolithiques de Bercy par la biogéochimie isotopique, *Mémoire de DEA*, DEA environnement et archéologie, Université Paris I, 73 p.
- Bocherens H., Pacaud G., Lazarev P.A. et Mariotti A. 1996. Stable isotopes abundances (^{13}C , ^{15}N), in collagen and soft tissues from Pleistocene mammals from Yakutia: implications for the paleobiology of the mammoth steppe, *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 126, 31–44
- Bocherens H., Tresset A., Wiedemann F., Giligny F., Lafage F., Lanchon Y. et Mariotti A. 1997. Bone diagenetic evolution in two French Neolithic sites, *Bull. Soc. géol. France*, 168 (à paraître)
- Bogucki P.I. 1984. Ceramic sieves of the linear pottery culture and their economic implications, *Oxford J. Archaeol.*, 3 (1), 15–30
- Chapman J.C. 1982. The secondary products revolution and the limitations of the Neolithic, *Univ. Lond. Bull. Inst. Archaeol.*, 19, 107–122
- Davis 1987. *The archaeology of animals*, Batsford, Londres, 224 p.
- Fogel M.L., Tuross N. et Owsley D.W. 1989. Nitrogen isotope tracers of human lactation in modern and archaeological populations, *Annual Report of the Director of the Geophysical Laboratory, Carnegie Institution of Washington, 1988-1989*, 111–117
- Katzenberg M.A., Herring D.A. et Saunders S.R. 1996. Weaning and infant mortality: evaluating the skeletal evidence, *Yrbk. Phys. Anthropol.*, 39, 177–199
- Klepinger L.L. 1984. Nutritional assessment from bone, *Ann. Rev. Anthropol.*, 13, 75–96
- Koch P., Fogel M.L. et Tuross N. 1994. Tracing the diets of fossil animals using stable isotopes, *Methods in Ecology*, Lajtha K. et Michener B. (eds), Blackwell Scientific Press, Oxford, 63–92
- Meniel P. et Chaix L. 1996. *Éléments d'archéozoologie*, Errance, Paris, 112 p.
- Peske L. 1994. Contribution to the beginning of milking in Prehistory, *Archeologické rozhledy*, 46, 97–104
- Rodière E., Bocherens H., Angibault J.M. et Mariotti A. 1996. Particularités isotopiques de l'azote chez le chevreuil (*Capreolus capreolus* L.) : implications pour les reconstitutions paléoenvironnementales, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 323, série Ila, 179–185
- Schoeninger M.J. et Deniro M.J. 1984. Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48, 625–639
- Sherratt A. 1981. Plough and pastoralism: aspects of the secondary products revolution, in: *Pattern of the Past: Studies in Honour of David Clarke*, Hodder I., Isaac G. et Hammond N. (eds), Cambridge, C.U.P., 261–305
- Tresset A. 1996. Le rôle des relations homme-animal dans l'évolution économique et culturelle des sociétés des V^e-IV^e millénaires en Bassin parisien. Approche ethno-zootéchnique fondée sur les ossements animaux, *Thèse de préhistoire-ethnologie-anthropologie*, Université Paris-I Panthéon-Sorbonne, 382 p.
- Van der Merwe et Vogel 1978. ^{13}C content of human collagen as a measure of prehistoric diet in woodland North America, *Nature*, 276, 815–816