

Paléontologie / Palaeontology
(Paléontologie humaine / Human Palaeontology)

Les Néandertaliens étaient-ils essentiellement carnivores ? Résultats préliminaires sur les teneurs en Sr et en Ba de la paléobiocénose mammalienne de Saint-Césaire

Vincent Balter^{a,b,*}, Alain Person^a, Nathalie Labourdette^a, Dorothee Drucker^c, Maurice Renard^a, Bernard Vandermeersch^b

^a Laboratoire de géologie des bassins sédimentaires, CNRS ESA 7073, université Pierre-et-Marie-Curie, 4, place Jussieu, 75252 Paris cedex 05, France

^b Laboratoire d'anthropologie des populations du passé, CNRS UMR 5809, université Bordeaux-1, av. des Facultés, 33405 Talence cedex, France

^c Laboratoire de biogéochimie isotopique, INRA-CNRS UMR 7618, université Pierre-et-Marie-Curie, 4, place Jussieu, 75252 Paris cedex 05, France

Reçu le 13 septembre 2000 ; accepté le 20 novembre 2000

Présenté par Jean Dercourt

Abstract – Were Neandertalians essentially carnivores? Sr and Ba preliminary results of the mammalian palaeobiocoenosis of Saint-Césaire. Strontium–calcium (Sr/Ca) and barium–calcium (Ba/Ca) ratios are reduced constantly between diet and bioapatite in mammal organisms. This phenomenon leads to a reduction in the Sr/Ca and Ba/Ca ratios at higher trophic level in predator–prey mammalian communities, and is applied here to the reconstruction of a castelperronian food web, which includes a Neanderthal specimen. Adapted chemical pretreatment allows to isolate bioapatite from diagenetic compounds for analysis of Ca, Sr and Ba. Sr/Ca and Ba/Ca results of the fauna are consistent with trophic predictions. Initial results for the Neandertal suggest that he was mostly carnivorous. Distribution of Ba/Ca values of bones of herbivorous taxa reveals that ruminant animals can be distinguished from non-ruminants. The biosegregation model predicts that the diet of the Neandertal was composed by about 97 % in weight of meat with a weak contribution of vegetable or fish, and that the association of fish and plant is excluded in any proportion. © 2001 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

trophic web / diet / Sr and Ba biosegregation / bioapatite / *Homo sapiens neandertalensis* / Europe / Middle Würm

Résumé – Des taxons ayant une relation proie–prédateur peuvent être discriminés à partir des rapports (Sr/Ca) et (Ba/Ca) des bioapatites, qui constituent la phase minérale de leur squelette. Le Sr et le Ba sont préférentiellement éliminés (bioségrégation) au cours des processus métaboliques par rapport au Ca. Ce phénomène se traduit par une diminution des rapports Sr/Ca et Ba/Ca d'un niveau trophique au suivant. Ce principe a été appliqué à la reconstitution d'un paléoréseau trophique pléistocène, à partir de l'analyse chimique des ossements mammaliens retrouvés sur le site de Saint-Césaire (Charente-Maritime, France), au sein desquels ont été exhumés les restes d'un Néandertalien. Une série d'attaques sélectives a permis d'éliminer les néoformations diagénétiques et de retrouver les valeurs initiales en Sr et Ba des carbonates hydroxylapatites. Les données obtenues tendent à replacer le Néandertalien parmi les carnivores. La distribution des

* Correspondance et tirés à part.

Adresse e-mail : balter@ccr.jussieu.fr (V. Balter).

rappports Ba/Ca des os des herbivores fait apparaître une distinction entre les ruminants et les non-ruminants. Un modèle de bioségrégation du Sr par rapport au Ca permet de quantifier les rapports qui lient les teneurs de ces éléments dans l'alimentation et dans les bioapatites d'un organisme. En inversant ce modèle et en testant différentes compositions alimentaires possibles, il apparaît que l'alimentation du Néandertalien de Saint-Césaire était essentiellement composée de viande ($\approx 97\%$ pondéral), l'apport complémentaire étant d'origine végétale ou ichthyologique. Une alimentation combinant uniquement végétaux et poissons est exclue en quelques proportions que ce soient. © 2001 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

réseau trophique / régime alimentaire / bioségrégation du Sr et du Ba / bioapatite / *Homo sapiens neanderthalensis* / Europe / Würm moyen

Abridged version

1. Introduction

The biosegregation of Ba and Sr in favour of Ca occurs in the digestive track and in the kidney [9, 14] of mammals, because the first ones are non essential. Because Sr/Ca is constant between plasma and muscle and bioapatite [7, 9], the biosegregation ratio (BR) $(\text{Sr}/\text{Ca})_{\text{bone}}/(\text{Sr}/\text{Ca})_{\text{diet}}$ (generally 0.24 ± 0.05 in healthy mammalian adults [2, 5]) can be extrapolated from the individual level to the food web scale. The constancy of BR in Sr and Ba induced that each trophic level is, at the ecosystem scale, strongly correlated by a linear regression, with a slope similar in each ecosystem. This phenomenon can be applied to depict fossil food webs.

Biogenic signatures in Sr and Ba are systematically altered by diagenetic processes that occur mainly for Quaternary material through addition of secondary minerals such as calcite (containing Sr), Fe–Mn oxyhydroxydes [10] that may contain Ba, clays and quartz. Differences in the solubility of the mineral phase of bone and teeth (carbonate hydroxylapatite) and secondary minerals allow chemical separation by acid etching. We evaluate possible diagenetic alteration of bioapatite by comparing, after pretreatments, Ca with Sr and Ba with Mn contents. In addition we check that the Ca/P ratio of bioapatites was included in modern variability ($1.99 \leq \text{Ca}/\text{P} \leq 2.33$) [11].

2. Materials

The Upper Pleistocene site of Saint-Césaire provides a good opportunity to study the environmental context of a so-called Late Neandertal. The stratigraphic level named EJOP with an age of $36\,300 \pm 2\,700$ BP has revealed a Neandertal skeleton associated with a castelperronian industry and a mammalian fauna [13]. Eight taxa including Neandertal were analysed, consisting of about forty samples.

3. Methods

Cortical bone samples were surface abraded, ground in an agate mortar and etched by dilute acetic acid (0.1 M) in excess for 1 h. Residual material was rinsed and etched in 4.5 M nitric acid for 1 h. The solution was filtered and adjusted quantitatively. PO_4 was measured photometrically.

Ca was determined by flame atomic absorption spectrometry (FAAS) in dilute solution containing 0.1 % of La. Sr was measured by FAAS using a standard addition method, and Mn was measured classically. Electrothermic atomic absorption spectrometry was used to measure Ba contents. For quality control, the standard reference NIST SRM 1400 'Bone ash' was used for all elements. Results of the standard measurements are presented in *table I*. Collagen quantity was measured by means of a CHN elemental analyzer [1], and was found to be particularly weak for the EJOP level [6].

4. Results

The Sr and Ba contents were not correlated to Ca or Mn ($r = 0.29$, with $p = 0.13$ and $r = 0.22$ with $p = 0.1$, respectively). Except for five samples that were rejected for trace elements analysis, values of Ca and P are consistent with biogenic variability (*figure 2*). Trace element contents are in the range of variability of recent bones [4, 7, 8], and discriminate carnivorous from herbivorous taxa. The results for the Neandertal sample suggest that he was mainly carnivorous, confirming results obtained from isotopic data on organic matter in another locality [1].

5. Discussion

The concomitant decrease in Sr/Ca and Ba/Ca ratios from herbivores to carnivores exhibits a slope similar to recent ecosystems, confirming the biogenic origin of the measured ratios. Ba/Ca values in herbivores tend to separate ruminant from non-ruminant herbivores. A quantification of the proportions of meat vs plants is possible through tests of different foodstuffs containing known amounts of Sr and Ca with the model of biosegregation of Sr, knowing the Sr/Ca of the bone. For a diet consisting of i foodstuffs, one can write that $(\text{Sr}/\text{Ca})_{\text{bone}} = 0.24[\sum_i (\text{Sr})_i / \sum_i (\text{Ca})_i]_{\text{diet}}$ [3]. As Sr/Ca in bones of herbivores is the same than in their edible tissues, one can estimate the Sr content of edible tissues, with a nearly constant value of $100 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ of Ca, to $0.046 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, that is in good agreement with available data of herbivore muscle contents [7]. While there is a wide variability in Sr/Ca of the plants used in the model, the Sr/Ca of the bone of the Neandertal is predicted with a quasi totality of meat in the

diet (97 wt %) with substantial plant or fish supplementation. The association of plant and fish is impossible in any proportion.

6. Conclusions

Biogeochemistry of Sr and Ba of fossil bioapatites is a promising tool to obtain palaeobiological information

1. Introduction

Le Sr et le Ba ne sont pratiquement pas utilisés par les réactions métaboliques chez les mammifères. Par rapport au Ca, le Sr et le Ba sont préférentiellement éliminés de l'organisme au cours de l'absorption intestinale et de l'excrétion rénale [7, 9]. La composition en Sr/Ca de la fraction minérale des os et des dents (bioapatite) reflète celle des liquides physiologiques, car le Sr peut s'incorporer dans les apatites selon une solution solide [14]. On peut ainsi définir un «rapport de bioségrégation (RB)» $[(\text{Sr}/\text{Ca}_{\text{os}})/(\text{Sr}/\text{Ca}_{\text{alimentation}}) = \text{RB}_{\text{Sr}}]$, qui marque le degré d'appauvrissement des os par rapport à l'alimentation. Ce rapport est bien connu et vaut systématiquement $0,24 \pm 0,05$ chez les mammifères adultes sains [2, 5]. Comme il n'existe pratiquement pas de différence en Sr/Ca entre les fluides physiologiques et les muscles (les données de Elias et al. [7] conduisent à un coefficient de partage entre les os et les muscles d'un individu de $1,11 \pm 0,18$), il en résulte, à l'échelle du réseau trophique, une diminution progressive et constante des rapports Sr/Ca dans les organismes lorsque l'on passe d'un niveau trophique au suivant. En ce qui concerne le Ba, le rapport Ba/Ca des parties comestibles des organismes est aussi de l'ordre de grandeur de celui des os : $0,91 \pm 0,41$ [7]. Cependant, le Ba fait l'objet d'un partitionnement entre les fluides physiologiques et les bioapatites qui n'est pas quantifié, mais qui peut être considéré comme constant [14]. Ainsi, le rapport Ba/Ca diminue aussi le long de la chaîne trophique. La diminution parallèle des rapports Sr/Ca et Ba/Ca entraîne une corrélation linéaire positive entre ces deux paramètres (*figure 1*). La pente de la droite de corrélation est sub-constante, quel que soit l'écosystème considéré, ce qui implique que le processus de biopurification du Ca peut s'appliquer à toutes les biocénoses mammaliennes terrestres et, en raison du principe d'uniformitarisme, être utilisé pour décrire les écosystèmes fossiles [17].

Les abondances biogéniques en Sr, Ba et Ca des biominéralisations fossiles peuvent a priori être oblitérées par des processus diagenétiques. La porosité de la structure osseuse permet le dépôt de différents mi-

concerning diet. The biosegregation model of Sr allows a quantification of the different amounts of foodstuffs. While problems of diagenesis are ubiquitous, and had to be resolved or at least diminished by accurate chemical pre-treatment, Sr and Ba biogeochemistry could provide information when isotopic measurements on organic matter are unavailable because of its degradation.

néraux diagenétiques, tels que la calcite, le quartz, les argiles et les oxy-hydroxydes de Fe–Mn [10]. En ce qui concerne le Sr, les contaminations impliquées sont les carbonates (calcite et éventuellement aragonite), et, dans le cas du Ba, les oxy-hydroxydes de Mn–Ba (psilomélane, hollandite). La différence de solubilité de ces composés par rapport aux bioapatites (carbonate

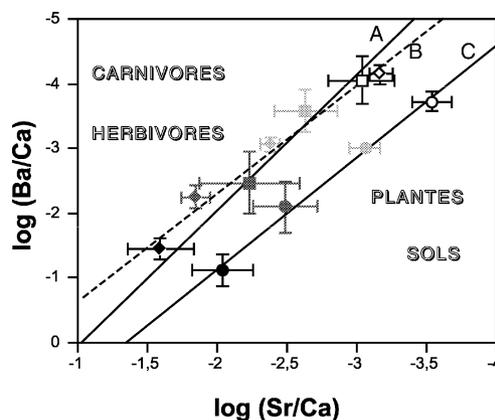


Figure 1. Les écosystèmes représentés sont issus de la région du Cap (Afrique du Sud, **A**), de la Californie (États-Unis, **B**) et de la frontière entre le Michigan et le Wisconsin (États-Unis, **C**). Les coefficients X des droites de régression $\log(\text{Ba}/\text{Ca}) = X \log(\text{Sr}/\text{Ca}) + Y$ sont estimés respectivement pour $X = 1,71$, $1,62$ et $1,97$. Les figurés carrés (**A**) illustrent les données de Gilbert et al. [8], les losanges (**B**), celles de Elias et al. [7] et les ronds (**C**), celles de Burton et al. [4]. Les RB_{Sr} calculés à partir des analyses des os des herbivores et des carnivores présentent une certaine variabilité : $0,40 \pm 0,09$ dans l'écosystème **A**, $0,16 \pm 0,02$ dans l'écosystème **B** et $0,33 \pm 0,05$ dans l'écosystème **C**. Les RB_{Ba} peuvent être estimés à l'échelle du réseau trophique selon le même raisonnement que pour le Sr : $0,34 \pm 0,07$ dans l'écosystème **A**, $0,08 \pm 0,01$ dans l'écosystème **B** et $0,19 \pm 0,02$ dans l'écosystème **C**. Dans tous les cas (mais d'une façon moindre dans l'écosystème **A**), les RB_{Ba} sont plus faibles que les RB_{Sr} , ce qui confirme une élimination préférentielle du Ba par rapport au Sr [15].

Figure 1. Compilation of $\log(\text{Sr}/\text{Ca})$ and $\log(\text{Ba}/\text{Ca})$ in different trophic levels in ecosystems coming from Southwestern Cape (South Africa; **A**; squares [4]), California (United States; **B**; diamond [7]) and Michigan/Wisconsin border (United States, **C**; circles [8]). Coefficients X of equation $\log(\text{Ba}/\text{Ca}) = X \log(\text{Sr}/\text{Ca}) + Y$ are respectively estimated to 1.71, 1.62 and 1.97. BR_{Sr} ratios between bones of carnivores and herbivores, extracted from a compiled diagram (*figure 1*), exhibit values of 0.4 ± 0.09 in the ecosystem **A**, 0.16 ± 0.02 (**B**) and 0.33 ± 0.05 (**C**). BR ratio of Ba (BR_{Ba}) can be evaluated as Sr: 0.34 ± 0.07 in ecosystem **A**, 0.08 ± 0.01 (**B**) and 0.19 ± 0.02 (**C**).

hydroxylapatite) permet d'envisager leur élimination par attaques sélectives à l'aide d'acides faibles. À l'issue de ces prétraitements, une corrélation entre les teneurs en Ca et Mn et celles de Sr et Ba indiquerait une origine diagénétique de ces derniers. C'est en l'absence de telles relations que les rapports Sr/Ca et Ba/Ca pourront, a posteriori, être interprétés en termes paléobiologiques. De plus, le rapport Ca/P a été utilisé pour tester l'intégrité minéralogique des échantillons étudiés, dont la variabilité doit varier entre 1,99 et 2,33 [11].

2. Matériel

La transition entre le Paléolithique moyen et le Paléolithique supérieur (38–33 ka BP) fut marquée par des changements environnementaux, anthropologiques et culturels importants [19]. La caractérisation des comportements alimentaires peut être envisagée pour mieux cerner les relations qu'ont entretenues les derniers Néandertaliens avec leur environnement. Le site de Saint-Césaire (Charente-Maritime, France) est particulièrement bien adapté pour une telle recherche, puisqu'il a livré, au sein d'un complexe faunistique, les restes d'un squelette considéré à l'heure actuelle comme celui de l'un des « derniers Néandertaliens » [19]. Le gisement, situé au lieu-dit « La Roche à Pierrot », se présente sous forme d'un abri sous roche effondré et creusé dans un calcaire Turonien supérieur [12]. La couche annotée EJOP sup., datée à $36,3 \pm 2,7$ ka BP et caractérisée par un complexe faunique classique, a livré un Néandertalien, associé à une industrie castelperronienne [13]. L'étude a été réalisée sur sept taxons herbivores, deux taxons carnivores et sur le spécimen néandertalien, l'ensemble représentant une quarantaine d'échantillons.

3. Méthode

Les fragments osseux corticaux ont été nettoyés par abrasion, broyés dans un mortier en agate et rincés sous ultra-sons dans l'eau distillée. Environ 300 mg d'échantillons ont été soumis à une attaque à l'acide acétique 0,1 M en excès pendant 1 h, afin d'éliminer les néoformations solubles. Rincés plusieurs fois, les échantillons sont séchés et dissous dans l'acide nitrique 4,5 M. La solution est filtrée à 3 μm et ajustée en fiole jaugée. Le PO_4 est dosé classiquement par absorptiométrie du complexe molybdo-vanado-phosphorique à 430 nm, le Mn et le Ca par spectrophotométrie d'absorption par flamme à partir de solution diluée en présence de 0,1 % de La (pour le Ca). En raison des interférences engendrées par les ions PO_4 sur l'absorbance du Sr en spectrophotométrie d'absorption par flamme, il a été choisi de mesu-

rer ce dernier par ajouts dosés. La spectrophotométrie d'absorption par atomisation électrothermique a été utilisée pour la mesure des abondances de Ba. Les rapports Sr/Ca et Ba/Ca sont exprimés en log pour une meilleure lecture. La justesse des analyses est vérifiée sur le standard international NIST SRM 1 400 *Bone Ash* (tableau 1). Sur échantillon brut, une mesure de la quantité du collagène restant est réalisée par un analyseur CHN [1]. Pour l'échantillonnage de Saint-Césaire, le taux de conservation du collagène s'est avéré particulièrement faible (moins d'un dixième de la quantité initiale), rendant l'étape d'élimination de la matière organique inutile dans le cadre des analyses élémentaires. Cependant, il a été possible dans certains cas d'extraire suffisamment de collagène pour effectuer des mesures isotopiques de l'azote et du carbone [6].

4. Résultats

À l'issue des prétraitements chimiques, il a été vérifié qu'aucune relation ne subsistait entre le Ca et le Sr d'une part, et entre le Mn et le Ba d'autre part ($r = 0,29$ avec $p = 0,13$ et $r = 0,22$ avec $p = 0,1$ respectivement). Les abondances en Ca et P ont permis de vérifier la stœchiométrie des bioapatites analysées (figure 2). Cinq échantillons n'ont pas été retenus pour les analyses en éléments traces, leur Ca/P s'écartant de la variabilité actuelle (tableau 1). Les teneurs en Sr ($150,9 \pm 37,3 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) et en Ba ($190,7 \pm 74,8 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) mesurées sur les ossements de Saint-Césaire sont compatibles avec des teneurs de faunes actuelles [4, 7, 8]. Les rapports Sr/Ca et Ba/Ca discriminent globalement les taxons herbivores ($\log \text{Sr/Ca} = -3,32 \pm 0,04$ et $\log \text{Ba/Ca} = -3,32 \pm 0,13$) des taxons carnivores ($\log \text{Ba/Ca} = -3,49 \pm 0,09$ et $\log \text{Ba/Ca} = -3,5 \pm 0,14$) (tableau 1). La droite de corrélation qui lie l'ensemble des échantillons possède une pente de 1,58 (figure 3). Cette valeur est comparable à celles des pentes des droites calculées sur les écosystèmes actuels, et conforte par là-même le caractère biogénique des rapports Sr/Ca et Ba/Ca mesurés. Les rapports Sr/Ca et Ba/Ca du Néandertalien indiquent clairement une position trophique dans le domaine des carnivores, confirmant ainsi les conclusions préliminaires issues des rapports isotopiques de l'azote du collagène mesurés sur des spécimens d'autres sites [1].

5. Discussion

Les taxons herbivores représentés à Saint-Césaire semblent se regrouper selon deux groupes : un premier groupe, composé par les taxons ruminants (bovidés et rennes), possède des valeurs de log (Ba/Ca) plus

Tableau I. Valeurs en Ca, P, Sr, Ba, Mn et N de la faune et du Néandertalien de la couche EJOP de Saint-Césaire et valeurs certifiées et mesurées en Ca, P, Sr et Ba du standard international NIST SRM 1 400 *Bone Ash*. Le chiffre entre parenthèses indique le nombre d'échantillons analysés et celui entre crochets, le coefficient de variation (%).**Table I.** Ca, P, Sr, Ba, Mn and N values of the studied material from EJOP level at Saint-Césaire and certified and measured values of Ca, P, Sr and Ba of standard NIST SRM 1 400 'Bone Ash'.

Annotation terrain	Taxon	Pièce anatomique	Ca (%)	P (%)	Sr ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	Ba ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	Mn ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	N (%)
EJOPsup. I4(IV) 22s	<i>Equus caballus</i>	Mi (Dentine)	32,9	17,8	–	–	111	–
EJOPsup. I4(IV) 25s-26s	<i>Equus indét.</i>	(E + D)	33,4	15,5	169	133	–	0,1
EJOPsup. E5(IV) 27i	<i>Equus indét.</i>	C (E + D)	34,6	15,7	152	116	608	0,1
EJOPsup. E5	<i>Rangifer tarandus</i>	Mandibule	34,1	15,6	162	210	–	–
EJOPsup. E5	<i>Rangifer tarandus</i>	Mandibule	32,8	15,0	173	247	167	–
EJOPsup. I4(I) 22i	<i>Rangifer tarandus</i>	Métapode	30,5	14,7	160	194	1150	–
EJOPsup. G5(II) 23s	<i>Rangifer tarandus</i>	Mi (E + D)	32,6	14,5	190	385	166	0,1
EJOP E4(I-III)	<i>Rangifer tarandus</i>	Ms (E + D)	33,6	14,9	111	138	–	0,1
EJOP E7(III) 32s	<i>Rangifer tarandus</i>	Mandibule	31,9	13,6	–	–	801	0,4
EJOPsup. I5 22s	<i>Bos indét.</i>	Métapode	34,2	16,3	139	242	918	–
EJOPsup. I5 22s	<i>Bos indét.</i>	Métapode	35,0	16,6	143	246	984	–
EJOPsup. F6(II) 26i	<i>Bos indét.</i>	Mandibule	35,2	14,0	–	–	500	–
EJOPsup. F6(II) 26i	<i>Bos indét.</i>	M3id (Dentine)	34,8	16,3	125	263	–	–
EJOPsup. H6(I) 25	<i>Bos indét.</i>	Mandibule	33,6	15,9	138	271	688	–
EJOPsup. I5(IV) 24i	<i>Bos indét.</i>	Métapode	34,5	16,5	143	314	734	–
EJOPsup. D6(II) 28i	<i>Bos indét.</i>	Os (ind.)	33,0	15,8	159	257	524	0,2
EJOPsup. H6(I) 25i	<i>Bos indét.</i>	Os (ind.)	31,9	15,8	135	265	445	0,1
EJOP E7(I) 32s	<i>Bos indét.</i>	Ps (E + D)	33,2	15,0	140	242	518	0,3
EJOP D5(II) 27s	<i>Bos indét.</i>	i (E + D)	34,7	15,2	208	265	177	0,2
EJOP G2(IV) 32i	<i>Bos indét.</i>	(E + D)	33,0	14,6	145	265	485	0,3
EJOP E7(I) 31i	<i>Bos indét.</i>	(E + D)	33,9	14,8	159	238	361	0,2
EJOP G5(IV) 24s	<i>Bos indét.</i>	(E + D)	34,2	15,5	149	177	439	0,1
EJOPsup. H5(III) 24i	<i>Mammuthus primigenius</i>	M (E + D)	33,1	16,2	150	140	532	0,1
EJOPsup. (III-IV) 29s	<i>Caelodonta antiquitatis</i>	M1-2i (Dentine)	32,0	16,5	–	–	353	–
EJOPsup. F5(IV)	<i>Caelodonta antiquitatis</i>	P2sd (Dentine)	32,2	15,5	201	171	432	–
EJOPsup. G5(III) 23i	<i>Caelodonta antiquitatis</i>	(E + D)	33,8	15,8	158	142	501	0,1
EJOP G5(IV) 24s	<i>Caelodonta antiquitatis</i>	Humérus?	33,1	15,0	124	114	360	0,1
EJOPsup. E6(II) 24i-26i	<i>Sus scrofa</i>	Maxillaire	32,5	16,4	159	122	521	0,1
EJOPsup. E6(II) 24i-26i	<i>Sus scrofa</i>	Ms (Dentine)	31,7	17,0	–	–	680	–
EJOP sup. H4 (IV) 23s	<i>Sus scrofa</i>	M3i (Dentine)	38,5	17,3	109	118	443	–
EJOP sup. G7(III) 30s	<i>Vulpes vulpes</i>	M (Dentine)	39,1	17,8	127	149	508	–
EJOP F3(IV) 23s	<i>Carnivora indét.</i>	C (Dentine)	34,9	17,1	76	70	117	0,1
EJOP E6(II) 27s	<i>Carnivora indét.</i>	Tibia	36,0	16,0	177	144	247	0,1
EJOPsup.	<i>Homo sapiens neanderthalensis</i>	Fibula	32,2	15,1	86	73	801	0,6
	NIST SRM 1400	Valeur certifiée	38,1	17,9	249	240		
		Valeur mesurée	38,9 (21) [1, 6]	17,2 (25) [5]	246 (27) [5, 7]	248 (11) [4, 13]		

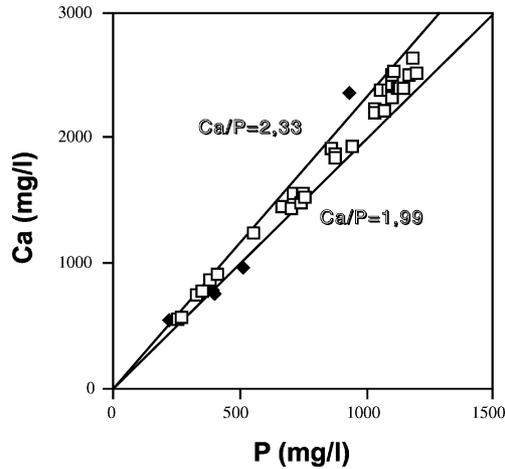


Figure 2. Variation de la stœchiométrie (Ca/P) des carbonates hydroxylapatites étudiés par rapport à la variabilité biogénique. Les losanges pleins ont été retirés de l'échantillonnage.

Figure 2. Variation of the stoichiometry of the studied carbonate hydroxylapatites in relation to the biogenic variability. Filled diamonds samples were rejected for trace elements analysis.

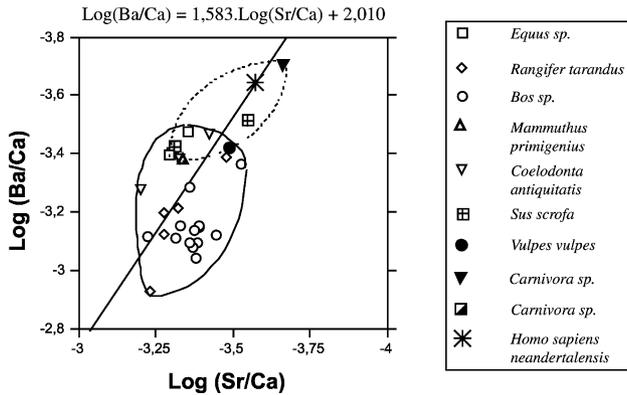


Figure 3. Relation entre les log(Ba/Ca) et log(Sr/Ca) de la faune et du Néandertalien de la couche EJOP à Saint-Césaire. La dispersion des carnivores et des herbivores est délimitée respectivement par des tirets et des lignes continues.

Figure 3. Relationship between log(Ba/Ca) vs log(Sr/Ca) of the studied material from EJOP level at Saint-Césaire. Dispersion of carnivores and herbivores are limited by the dashed line and the straight line, respectively.

fortes que le groupe rassemblant les mammouths, les rhinocéros et les chevaux (non ruminants). Une telle distinction paraît n'avoir jamais été décrite chez les mammifères. Le système digestif des ruminants permet une dégradation avancée de la cellulose par un temps de résidence important du digesta [18], ce qui peut augmenter la quantité d'éléments minéraux susceptibles d'être absorbés. Le fait que le Sr ne semble pas sensible à cette distinction est probablement dû à sa plus faible bioségrégation.

Pour le Néandertalien, une approche quantitative peut être proposée pour évaluer les proportions de viande et de matière végétale consommées. Dans

Tableau II. Valeurs et références bibliographiques utilisées pour la reconstitution des différents apports de l'alimentation du Néandertalien.

Table II. Values and bibliographic references used to predict the amount of different foodstuff in the diet of Saint-Césaire Neandertal.

Aliment	Ca (mg · g ⁻¹)	Sr (mg · g ⁻¹)	Référence
viande	100	0,046	[7, 8, 16]
végétaux terrestres	6 000	22,4	[4]
	1 300	19	[7]
	6 000	40	[8]
poisson	46 000	0,003 7	[16]

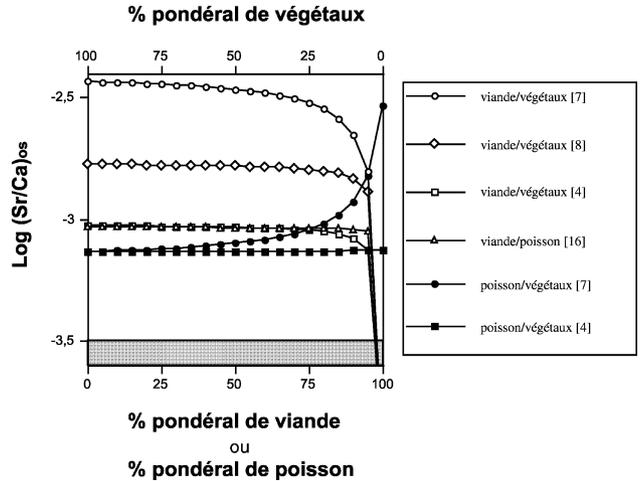


Figure 4. Évolution de la valeur de log(Sr/Ca) de la fraction osseuse du Néandertalien en supposant une alimentation bimodale. La variabilité liée à la mesure du Sr/Ca du Néandertalien a été représentée par la zone grisée.

Figure 4. Prediction of the log(Sr/Ca) of Neandertal's bone with bimodal diet. The grey area represents experimental error of measured log(Sr/Ca).

une alimentation polyspécifique, il faut considérer les quantités de Sr et de Ca apportées par les différentes sources nutritionnelles, et on peut alors écrire que [3] :

$$(Sr/Ca)_{\text{alimentation}} = \sum_i (Sr)_i / \sum_i (Ca)_i, \quad \text{donc}$$

$$(Sr/Ca)_{\text{os}} = 0,24 \left[\sum_i (Sr)_i / \sum_i (Ca)_i \right]_{\text{alimentation}}$$

La valeur moyenne des Sr/Ca des bioapatites des herbivores analysés est de 0,000 46. En supposant donc que ce rapport est le même dans les tissus comestibles, et en se basant sur une teneur d'environ 100 µg · g⁻¹ de Ca, qui est assez constante dans la littérature [7, 16], on peut estimer la teneur en Sr de la chair des herbivores de Saint-Césaire à 0,046 µg · g⁻¹, ce qui est de l'ordre de grandeur des données disponibles [7]. En considérant une alimentation bimodale, on peut alors faire varier les différentes proportions d'aliments (*ta-*

bleau II) et déduire le Sr/Ca théorique des bioapatites (figure 4). Bien qu'il existe une grande différence des teneurs en Sr et Ca des végétaux pris comme références, la valeur du $\log(\text{Sr}/\text{Ca})_{\text{OS}}$ du Néandertalien ne peut être obtenue que pour une alimentation composée uniquement de viande (de l'ordre de 97 % en poids). Dans des proportions similaires, la combinaison viande/poisson est aussi possible, mais celle qui mettrait en jeu du poisson et des végétaux est impossible, dans quelques proportions que se soient. Alors que les isotopes stables de l'azote ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) ne renseignent que sur la nature des protéines alimentaires [1], les éléments traces peuvent permettre une approche quantitative des proportions des différents constituants alimentaires. La connaissance du comportement du Ba au cours des processus digestifs et lors de son incorporation dans les bioapatites doit être améliorée si l'on veut pouvoir en tirer autant de profit

Remerciements. Les auteurs tiennent à remercier J. Dercourt pour ses remarques constructives, ainsi que M. Lévêque et Mme Lavaud-Girard pour l'accès à la faune de Saint-Césaire. Cette étude a pu être réalisée grâce au financement du projet « La fin du Paléolithique moyen et le début du Paléolithique supérieur » dans le cadre du programme PEH du CNRS.

Références

- [1] Bocherens H., Billiou D., Mariotti A., Patou-Mathis M., Otte M., Bonjean D., Toussaint M., Palaeoenvironmental and palaeodietary implications of the isotopic biogeochemistry of last interglacial Neandertal and mammal bones in Scladina Cave (Belgium), *J. Archaeol. Sci.* 26 (1999) 599–609.
- [2] Burton J.D., Mercer E.R., Discrimination between strontium and calcium in their passage from diet to the bone of adult man, *Nature* 193 (1962) 846–847.
- [3] Burton J.H., Wright L.E., Nonlinearity in the relationship between bone Sr/Ca and diet: palaeodietary implications, *Am. J. Phys. Anthropol.* 96 (1995) 273–282.
- [4] Burton J.H., Price T.D., Middleton W.D., Correlation of bone Sr/Ca and Ba/Ca due to biological purification of calcium, *J. Archaeol. Sci.* 26 (1999) 609–616.
- [5] Comar C.L., Russell L., Wassermann R.H., Strontium-calcium movement from soil to man, *Science* 126 (1957) 485–496.
- [6] Drucker D., Bocherens H., Mariotti A., Lévêque F., Vandermeersch B., Guadelli J.-L., Conservation des signatures isotopiques du collagène d'os et de dents du Pléistocène supérieur (Saint-Césaire, France) : implications pour les reconstitutions des régimes alimentaires des Néandertaliens, *Bull. Mém. Soc. Anthropol. Paris* 11 (1999) 289–305.
- [7] Elias R.W., Hirao Y., Patterson C.C., The circumvention of the natural biopurification of calcium along nutrient pathways by atmospheric inputs of industrial lead, *Geochim. Cosmochim. Acta* 46 (1982) 2561–2580.
- [8] Gilbert C., Sealy J., Sillen A., An investigation of barium, calcium and strontium as palaeodietary indicators in the Southwestern Cape, South Africa, *J. Archaeol. Sci.* 21 (1994) 173–184.
- [9] Kobayashi E., Suzuki K.T., Biological discrimination between calcium and strontium in the kidney and bone of calcium-deficient growing rats, *J. Trace Elem. Exp. Med.* 3 (1990) 327–336.
- [10] Kohn M.J., Schoeninger M.J., Barker W.W., Altered states: effects of diagenesis on fossil tooth chemistry, *Geochim. Cosmochim. Acta* 63 (1999) 2737–2747.
- [11] Legeros R.Z., Legeros J.P., Phosphate minerals in human tissues, in: Nriagu J.O., Moore P.B. (Eds.), *Phosphate Minerals*, Springer Verlag, 1984, pp. 351–385.
- [12] Lévêque F., Introduction to Saint-Césaire, in: Lévêque F., Backer A.M., Guilbaud M. (Eds.), *Context of a Late Neandertal*, Prehistory Press, 1993, pp. 1–7.
- [13] Lévêque F., Vandermeersch B., Découverte de restes humains dans un niveau castelperronien à Saint-Césaire, Charente-Maritime, *C. R. Acad. Sci. Paris, série II* 291 (1980) 187–189.
- [14] Lucas J., El Faleh E.M., Prévôt L., Experimental study of the substitution of Ca by Sr and Ba in synthetic apatites, *Geol. Soc. Spec. Pub.* 52 (1990) 33–47.
- [15] Marcus C.S., Wassermann R.H., Comparison of intestinal discrimination between calcium 47, strontium 85 and baryum 133, *Am. J. Physiol.* 209 (1965) 973–977.
- [16] Randouin L., Le Gallic P., Dupuis Y., Bernardin A., Tables de composition des aliments, Jacques Lanore, Paris, 1996.
- [17] Sillen A., Armstrong R., Strontium calcium ratios (Sr/Ca) and strontium isotopic ratios ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) of *Australopithecus robustus* and *Homo sp.* from Swartkrans, *J. Hum. Evol.* 28 (1995) 277–285.
- [18] Uden P., Rounsaville T.R., Wiggans G.R., van Soest P.J., The measurement of liquid and solid digesta retention in ruminants, equines and rabbits given timothy (*Phleum pratense*) hay, *Brit. J. Nut.* 48 (1982) 329–339.
- [19] Wolpoff M.H., Neandertals of the Upper Paleolithic, in: Carbonell E., Vaquero M. (Eds.), *The last Neandertals, the first anatomically modern humans: a tale about the human diversity*, Universitat Rovira i Virgili, 1996, pp. 51–76.