

Isòtops estables de carboni i nitrogen i paleoalimentacions humanes: aplicació a les poblacions neandertals

Hervé Bocherens

L'alimentació té una importància fonamental en l'evolució dels homínids i en el funcionament de les societats humanes del passat. En efecte, el règim alimentari imposa condicions sobre nombrosos aspectes fonamentals de la biologia d'una espècie, particularment dels primats (ex.: MILTON, 1999). Les causes alimentàries han estat proposades per explicar nombroses etapes decisives de l'evolució dels homínids, com per exemple la separació entre els grans primats i els altres homínids, la coexistència de diverses espècies d'homínids en el curs del plio-pleistocè d'Àfrica, l'emergència dels primers representants del gènere *Homo* i la dels primers *Homo Sapiens* (ex.: DART, 1957; BLUMENSCHINE I CAVALLO, 1992; COPPENS, 1986; BINFORD, 1985; VRBA, 1985; LIEBERMAN I SHEA, 1994; CACHEL, 1997; RAGIR, 2000; BROADHURST [et al.], 2002). Les implicacions alimentàries no s'han de demostrar en l'emergència de l'economia de producció neolítica amb relació a l'estratègia caçadora/recol·lectora.

De la mateixa manera, diferències en l'alimentació han estat posades en paral·lel amb l'estratificació social de les societats urbanitzades.

Els mètodes de reconstrucció dels antics règims alimentaris a partir de restes òssies, de fragments de plantes i dels artefactes dels jaciments arqueològics i prehistòrics comporten biaixos i queden limitats a reconstitucions qualitatives. Pel que fa a les restes d'homínids mateix, s'han utilitzat les aproximacions basades en el desgast dentari (ex.: PUECH [et al.], 1980; WALKER, 1981), però sols els extrems de l'alimentació poden ser enregistrats (AMBROSE, 1993).

Els ossos i les dents dels vertebrats enregistren en la seva composició química l'origen dels materials a partir dels quals són sintetitzats. En particular, els valors en isòtops estables del carboni (C^{13}/C^{12}) i del nitrogen (N^{15}/N^{14}) reflecteixen els aliments ingerits i es troben directament lligats al comportament de subsistència (síntesi a AMBROSE, 1993; KOCH [et al.], 1994; BOCHERENS I DRUCKER, 2005). Els ossos i les dents fòssils poden, doncs, proporcionar informacions sobre el règim alimentari d'homínids fòssils, a condició (1) que les fonts dels possibles aliments presentin composicions isotòpiques ben diferenciades, (2) que es coneguin els mecanismes d'enregistrament de les concentracions isotòpiques de l'alimentació per part de l'organisme i (3) que la diagènesi, conjunt de transformacions sofertes pels teixits després de la mort dels individus, no modifiqui el senyal enregistrat en vida. Els estudis realitzats sobre restes neandertals, que daten aproximadament de fa entre 100.000 anys i 32.000 anys, i sobre les restes faunístiques associades, han lliurat des de fa quinze anys informacions precises sobre l'alimentació dels homínids (ex.: BOCHERENS [et al.], 1991, 1999, 2001, 2005).

Principis d'aplicació de les anàlisis isotòpiques a l'estudi de l'alimentació dels neandertals

A fi de definir les concentracions isotòpiques de les possibles fonts d'aliments presents en l'alimentació dels neandertals, és necessari ba-

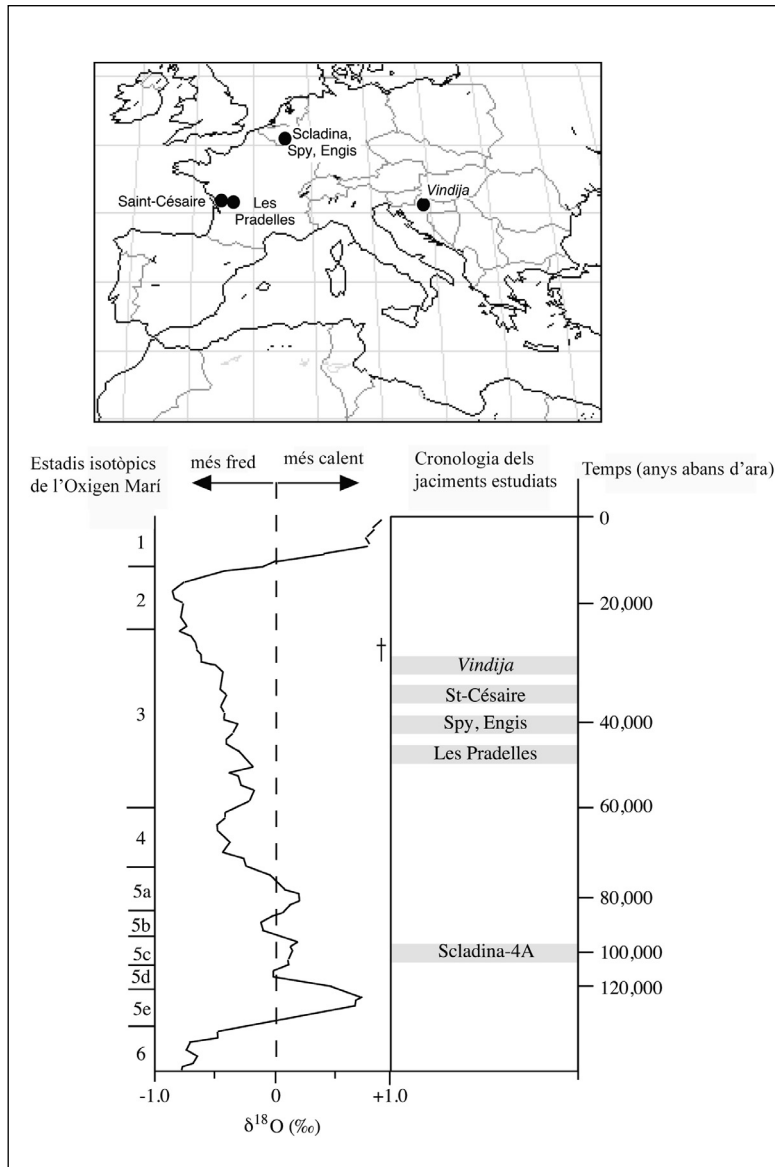


Figura 1. Quadre espacial i cronològic dels estudis isotòpics de col·lagen de neandertals. L'escala cronològica dels estadis isotòpicomarins de l'oxigen (MOIS) és treta de Behre (1989).

sar-se en un bon estudi arqueozoològic i realitzar l'anàlisi isotòpica de mostres de la fauna associada a les restes dels homínids estudiades. En efecte, els factors mediambientals, com l'aridesa, la temperatura i les característiques dels sòls, poden modificar de manera significativa els senyals isotòpics en el nitrogen de les plantes, i, doncs, dels herbívors i de tota la cadena tròfica (ex.: DRUCKER [et al.], 2003a, 2003b; DRUCKER I BOCHERENS, 2004). Els estudis realitzats sobre la fauna dels mamífers terrestres associats als neandertals han posat en evidència les clares diferències isotòpiques entre els diferents herbívors, principalment els rens, que presenten valors en C^{13} menys baixos que la dels altres herbívors a causa de l'important consum de lí-

quens, i els grans herbívors, com el mamut i el rinoceront llanut, que presenten valors en N^{15} més elevats que els altres herbívors probablement a causa d'una alimentació rica en gramínies seques. Per mitjà d'aquest fet és possible determinar les proporcions relatives de preses terrestres consumides pels neandertals, fins i tot en l'absència de recursos marins o aquàtics amb senyals isotòpics ben diferenciats dels recursos terrestres.

Els estudis realitzats sobre animals captius i sobre les cadenes tròfiques naturals ben controlades han permès de determinar les diferències entre senyals isotòpics del col·lagen dels depredadors i de les seves preses (BOCHERENS I DRUCKER, 2003). Els valors de δC^{13} del col·la-

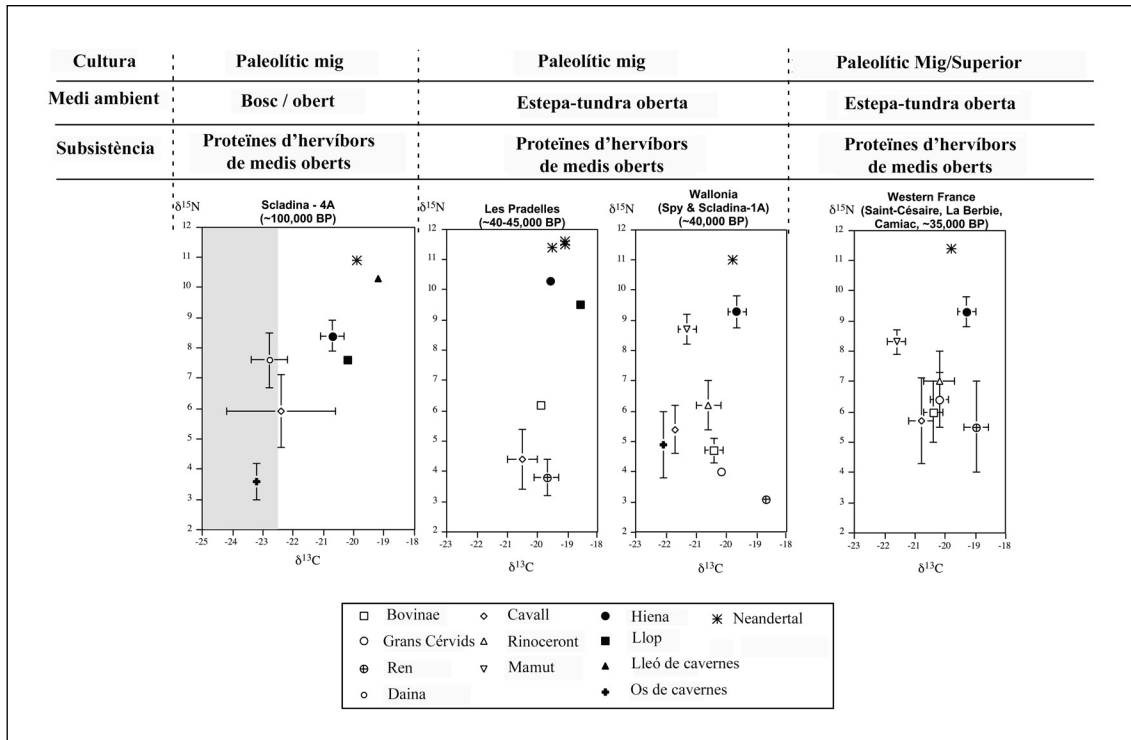


Figura 2. Valors de $\delta^{13}\text{C}$ i de $\delta^{15}\text{N}$ de col·lagen de neandertals de Saint-Césaire (amb els mamífers de Camiac i de La Berbie), de Pradelles, de Wallonie (Spy i Sciadina-1A), comparats amb d'altres de fauna contemporània (mitjana \pm desviació tipus per diferents espècies d'hervívoros i carnívors).

gen d'un depredador són més elevats, de 0,8 a 1,3‰, mentre que els valors de δN^{15} del col·lagen d'un depredador són més elevats, de 3 a 5‰, amb relació a la mitjana dels valors isotòpics de les seves preses. D'altra banda, un factor a tenir en compte és el fraccionament isotòpic suplementari del nitrogen per als joves mamífers (inclosos els humans) que consumeixen la llet de la seva mare (ex.: FOGEL [et al.], 1989; BOCHERENS [et al.], 1994). Per aquest fet, les signatures isotòpiques del nitrogen dels individus joves i dels teixits formats durant la joventut dels individus, com les dents de creixement no continuat, s'han d'interpretar tenint en compte aquesta particularitat dels mamífers. Un dels espècimens dels neandertals, el col·lagen del qual ha lliurat valors isotòpics, és probablement massa jove per a haver esborrat el seu senyal isotòpic de lactació. Es tracta de l'individu juvenil d'Engis (BOCHERENS [et al.], 2001, 2005).

Correntment s'utilitzen criteris químics per a detectar les possibles alteracions isotòpiques dels col·làgens extrets d'ossos fòssils dels nean-

dertals i de la fauna associada. Aquests criteris necessiten les quantitats de carboni i nitrogen dels productes extrets (ex.: DENIRO, 1985; AMBROSE, 1990), quantitats que varien molt poc en el col·lagen, sigui quina sigui l'espècie considerada. En la dotzena d'espècimens de neandertals dels quals s'han publicat els valors isotòpics de col·lagen, alguns no responen a aquests criteris, com els valors dels dos espècimens del jaciment de Pradelles (BOCHERENS [et al.], 2005), així com els dels espècimens de Vendija (HIGHAM [et al.], 2006), inicialment publicats per SMITH [et al.], (1999), i discutits en termes paleoalimentaris per RICHARDS [et al.], (2000).

Resultats

Després de l'eliminació dels exemplars dels neandertals el col·lagen dels quals no pot ser interpretat en termes paleoalimentaris, solament poden ser considerats set exemplars. Un d'aquests, l'espècimen del nivell 3 de la cova

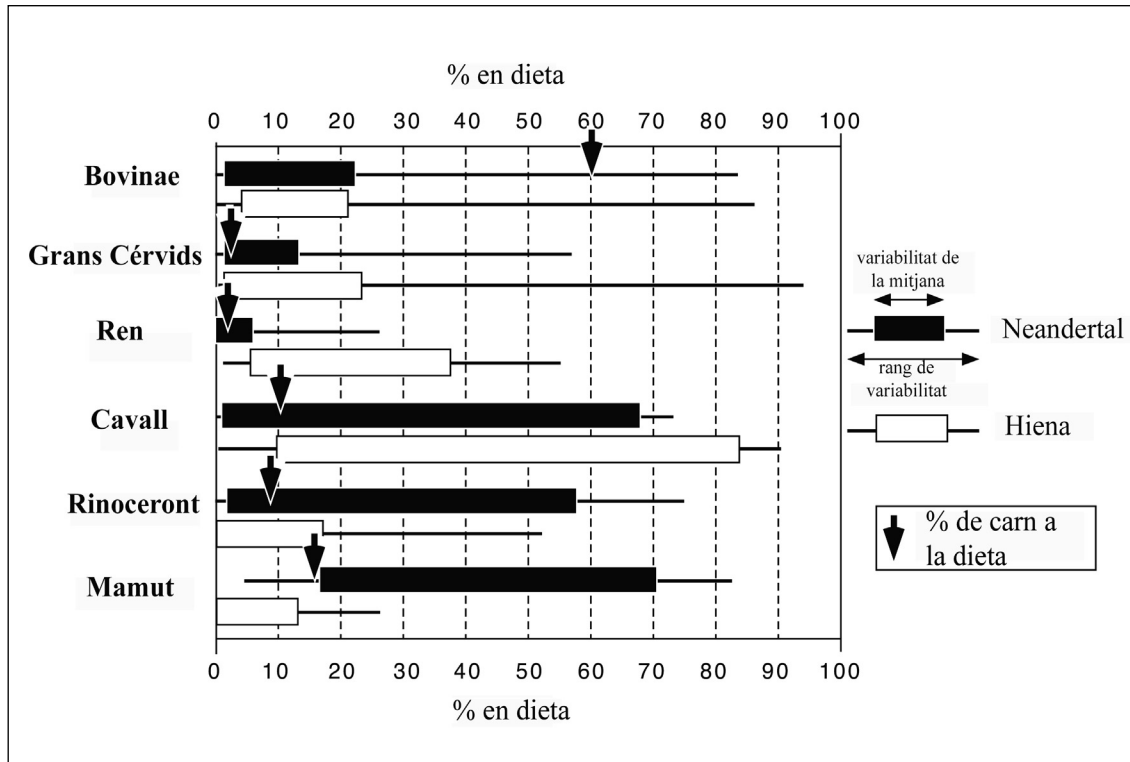


Figura 3. Balanç de la paleoalimentació del neandertal de Saint-Césaire I. Comparació entre els resultats dels dos models (BOCHERENS [et al.], 2005) i dels càlculs de pes de carn (PATOU-MATHIS, 2006).

Scladina, a Bèlgica, s'ha de deixar provisionalment de banda, a l'espera de l'estudi complet de la fauna associada (BOCHERENS [et al.], 2005). Els sis restants corresponen a quatre jaciments, amb tres espècimens procedents del mateix jaciment: les Pradelles. Tots aquests neandertals presenten valors isotòpics en la mateixa gamma que la dels animals depredadors, com la hiena, el llop i el lleó. Aquests resultats ens porten a concloure que els neandertals eren tan carnissers com els grans depredadors. Tanmateix, s'ha de retenir que els valors isotòpics del col·lagen reflecteixen essencialment les proteïnes alimentàries, fet que no exclou una certa proporció d'aliment vegetal, que no aporta proteïnes i que és, doncs, invisible en el recompte isotòpic del col·lagen.

Per a un d'aquests jaciments, Saint-Césaire, la bona qualitat dels resultats isotòpics sobre els elements faunístics ha permès d'utilitzar un model matemàtic per a calcular les diferents proporcions de les diferents preses consumides pels neandertals estudiats i per les hienes.

Discussió

Els resultats isotòpics de tots els espècimens de neandertals estudiats fins ara indiquen una ecologia tròfica similar. En tots els casos, els valors de δN^{15} dels neandertals són 1-2‰ més positius que els dels depredadors contemporanis com les hienes. Aquests resultats mostren que les proteïnes eren proporcionades principalment pels herbívors de medis oberts amb valors de δN^{15} elevats, com el rinoceront llanut, el mamut i els grans bòvids. Aquests resultats són particularment informatius en el cas de l'espècimen del nivell 4A de la cova Scladina, a Bèlgica, on els indicadors paleoambientals mostren en aquest període la presència de zones forestals, fet que està confirmat pels valors isotòpics de carbó dels grans herbívors (BOCHERENS [et al.], 1999). Sembla, doncs, que l'ecologia tròfica dels neandertals era relativament estable en el curs del temps i que era essencialment dependent de la carn dels grans herbívors d'espais oberts, fins i tot en els episodis més temperats,

que permetien el desenvolupament de boscos. Fins i tot el neandertalià chatelperronià de Saint-Césaire no contradiu aquest esquema, en una època en què els humans moderns ja són presents en algunes parts d'Europa (TRINKAUS [et al.], 2003). Si aquest esquema es manté quan siguin disponibles més dades isotòpiques, podria reflectir una certa rigidesa tròfica dels neandertals, fet que els podria haver fet més vulnerables en el cas de competició amb els humans anatòmicament moderns durant la transició entre el paleolític mitjà i el paleolític superior a Europa (BOCHERENS I DRUCKER, 2006).

El cas de Saint-Césaire permet una interpretació més aprofundida de la seva estratègia de subsistència. El fet que els valors isotòpics de les hienes de la mateixa edat indiquin un consum més feble de mamuts i de rinoceronts llanuts que per part del neandertalià, suggereix que la vianda d'aquest megaherbívor no era fàcilment accessible per a carronyaires (BOCHERENS [et al.], 2005). És possible comparar aquests resultats amb els de l'anàlisi arqueozoològica publicada per Patou-Mathis (2006) (figura 3). Sembla que la contribució relativa dels grans herbívors, com els mamuts i rinoceront llanuts, és més baixa en la reconstrucció arqueozoològica que en la reconstitució isotòpica, mentre que la contribució relativa dels grans bòvids és més forta (figura 3). Això podria reflectir una alimentació especial per a l'individu humà analitzat en relació amb la mitjana del grup que ha deixat les restes faunístiques en el nivell chatelperronià. Una altra explicació podria estar lligada a una decisió vinculada al transport: els filets de carn dels grans herbívors podien ser transportats al campament, i, doncs, no deixaven restes òssies com les espècies de talla més petita (BOCHERENS [et al.], 2005).

Fins a l'actualitat, sols els neandertals de les latituds nòrdiques han pogut ser estudiats per l'aproximació isotòpica. Es produeixen problemes de conservació del col·lagen en els contextos més càlids, com l'Orient Mitjà (AMBROSE, 1998). Les noves tecnologies que busquen purificar les molècules que poden ser més estables que el col·lagen, però en molt petites quantitats, poden permetre de resoldre aquesta dificultat (NIELSEN-MARSH [et al.], 2005), una vegada que els calibratges necessaris per a l'estudi paleoalimentari estiguin fets sobre aquestes molècules.

Conclusió

Després de la primera utilització d'isòtops estables en el col·lagen dels neandertals per a reconstruir els hàbits alimentaris, l'addició de noves dades i la millora de la metodologia han permès l'adquisició d'informacions inèdites sobre les estratègies de subsistència d'aquests homínids extingits. Les implicacions d'aquest camp de recerca s'han incorporat, actualment, a les investigacions més generals sobre l'adaptació i l'extinció dels neandertals (ex.; KLEIN, 2000; LANGBROEK, 2001; ROEBROEKS, 2001; HOCKETT I HAWS, 2005; FINLAYSON, 2004; STRAUSS, 2005). En els propers anys es generaran noves dades, principalment en el marc de datacions radiocarbòniques per accelerador d'ossos neandertals, i, si bé aquestes dades seran benvingudes, seria una llàstima que aquest treball no anés acompanyat de les condicions requerides per les interpretacions paleoalimentàries, és a dir, facilitar les dades isotòpiques addicionals sobre la fauna d'herbívors i de carnívors contemporanis que permetin la seva interpretació tròfica. La utilització de models mixtos hauria de permetre quantificar les variacions de les possibles preses consumides pels neandertals (BOCHERENS [et al.], 2005), i la comparació amb les dades arqueozoològiques serà rica en informacions.

Résumé

Isotopes stables du carbone et de l'azote et paléo-alimentations humaines: application aux Néandertaliens

L'utilisation des signatures isotopiques stables du carbone et de l'azote du collagène osseux a permis la reconstitution des sources de protéines de 6 spécimens néandertaliens, en France et en Belgique. Tous les spécimens étudiés à ce jour indiquent une alimentation riche en protéines de grands herbivores de milieux ouverts, et plus particulièrement de très grands herbivores, comme le mammoth et le rhinocéros laineux. L'utilisation préférentielle de ces ressources correspond à une compétition alimentaire limitée avec les prédateurs animaux, comme les hyènes, qui consommaient plutôt des herbivores plus petits. Les recherches à venir de-

vront augmenter le nombre d'échantillons étudiés et élargir si possible l'étendue géographique et environnementale des sites.

Resumen

Isótopos estables de carbono y nitrógeno y paleo-alimentación humana: aplicación a las poblaciones neandertales

La utilización de las señales isotópicas estables del carbono y del nitrógeno del colágeno óseo ha permitido la reconstitución de las fuentes de proteínas de 6 muestras de neandertales, en Francia y en Bélgica. Todas las muestras estudiadas hasta hoy indican una alimentación rica en proteínas de grandes herbívoros de espacio abierto, y particularmente de los grandes herbívoros, como el mamut y el rinoceronte lanudo. La utilización preferente de estos recursos corresponde a una competición alimentaria limitada con los depredadores animales, como las hienas, que consumían sobre todo herbívoros más pequeños. Las investigaciones futuras deberán aumentar el número de muestras a estudiar y ampliar, si es posible, la extensión geográfica y medioambiental de los yacimientos.

Referències bibliogràfiques

- AMBROSE, S. H. (1990). «Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis». *J. Archaeol. Sci.*, 17, p. 431-451.
- AMBROSE, S. H. (1993). «Isotopic analysis of paleodiets: Methodological and interpretive considerations». Dins: STANFORD, M. K. (ed.). *Investigations of ancient human tissue, Chemical analyses in Anthropology*. Langhorne, Pennsylvania, USA: Gordon and Breach Science Publishers, p. 59-130.
- AMBROSE, S. H. (1998). «Prospects for stable isotopic analysis of later Pleistocene hominid diets in West Asia and Europe». Dins: AKAZAWA, T.; AOKI, K.; BAR-YOSEF, O. (eds.). *Origin of Neandertals and Humans in West Asia*. New York: Plenum Press, p. 277-289.
- BEHRE, K. E. (1989). «Biostratigraphy of the last glacial period in Europe». *Quaternary Science Review*, 8, p. 25-44.
- BINFORD, L. R. (1985). «Human ancestors: Changing views of their behavior». *Journal of Anthropological Archaeology*, 4, p. 292-327.
- BLUMENSCHINE, R.; CAVALLO, J. (1992). «Nos ancêtres, des charognards?». *Pour la Science*, 182, p. 74-81.
- BOCHERENS, H. (2003). «Isotopic biogeochemistry and the paleoecology of the mammoth steppe fauna». Dins: REUMER, W. F.; BRABER, F.; MOL, D.; DE VOS, J. (eds.). *Advances in Mammoth research*. Rotterdam: Deinsea, 9, p. 57-76.
- BOCHERENS, H.; DRUCKER, D. (2003). «Trophic level isotopic enrichments for carbon and nitrogen in collagen: case studies from recent and ancient terrestrial ecosystems». *International Journal of Osteoarchaeology*, 13, p. 46-53.
- BOCHERENS, H.; DRUCKER, D. (2005). «Biogéochimie isotopique et reconstitution de l'alimentation des humains anciens et des hominidés fossiles». Dins: DUTOUR, O.; HUBLIN, J. J.; VANDERMEERSCH, B. (eds.). *Introduction à la Paléanthropologie*. CTHS, Orientations et Méthodes, 7, p. 343-361.
- BOCHERENS, H.; DRUCKER, D. (2006). «Dietary competition between Neanderthals and Modern Humans: insights from stable isotopes». Dins: CONARD, N. (ed.). *When Neanderthals and Modern Humans met*. Tübingen: Publications in Prehistory, KernsVerlag, p. 129-143.
- BOCHERENS, H.; FIZET, M.; MARIOTTI, A.; LANGE-BADRÉ, B.; VANDERMEERSCH, B.; BOREL, J. P.; BELLON, G. (1991). «Isotopic biogeochemistry (¹³C, ¹⁵N) of fossil vertebrate collagen: implications for the study of fossil food web including Neandertal Man». *Journal of Human Evolution*, 20, p. 481-492.
- BOCHERENS, H.; FIZET, M.; MARIOTTI, A. (1994). «Diet, physiology and ecology of fossil mammals as inferred by stable carbon and nitrogen isotopes biogeochemistry: implications for Pleistocene bears». *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 107, p. 213-225.
- BOCHERENS, H.; BILLIOU, D.; PATOU-MATHIS, M.; BONJEAN, D.; OTTE, M.; MARIOTTI, A. (1997). «Isotopic biogeochemistry (¹³C, ¹⁵N) of fossil mammal collagen from Scladina cave (Sclayn, Belgium)». *Quaternary Research*, 48, p. 370-380.
- BOCHERENS, H.; BILLIOU, D.; PATOU-MATHIS, M.; OTTE, M.; TOUSSAINT, M.; BONJEAN, D.; MARIOTTI, A. (1999). «Palaeoenvironmental and palaeodietary implications of isotopic biogeochemistry of late interglacial Neandertal and mammal bones in Scladina Cave (Belgium)». *Journal of Archaeological Science*, 26, p. 599-607.
- BROADHURST, C. L.; WANG, Y.; CRAWFORD, M. A.; CUNNANE, S. C.; PARKINGTON, J. E.; SCHMIDT, W. F. (2002). «Brain-specific lipids from marine, lacustrine, or terrestrial food resources: potential impact on early African *Homo sapiens*». *Comparative Biochemistry and Physiology*. Part B, 131, p. 653-673.
- CACHEL, S. (1997). «Dietary shifts and the European Upper Palaeolithic transition». *Current Anthropology*, 38, p. 579-603.
- COPPENS, Y. (1986). «Evolution de l'Homme». *Comptes Rendus, La vie des Sciences*, 3, p. 227-243.
- DART, R. A. (1957). «The osteodontokeratic culture of *Australopithecus prometheus*». *Transvaal Museum Memoirs*, 10.
- DENIRO, M. J. (1985). «Postmortem preservation and alteration of *in vivo* bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction». *Nature*, 317, p. 806-809.

- DRUCKER, D.; BOCHERENS, H. (2004). «Carbon and nitrogen stable isotopes as tracers of diet breadth evolution during Middle and Upper Palaeolithic in Europe». *International Journal of Osteoarchaeology*, 14, p. 162-177.
- DRUCKER, D.; BOCHERENS, H.; BRIDAULT, A.; BILLIOU, D. (2003a). «Carbon and nitrogen isotopic composition of Red Deer (*Cervus elaphus*) collagen as a tool for tracking palaeoenvironmental change during Late-glacial and Early Holocene in northern Jura (France)». *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 195, p. 375-388.
- DRUCKER, D.; BOCHERENS, H.; BILLIOU, D. (2003b). «Evidence for shifting environmental conditions in Southwestern France from 33.000 to 15.000 years ago derived from carbon-13 and nitrogen-15 natural abundances in collagen of large herbivores». *Earth and Planetary Science Letters*, 216, 163-173.
- FINLAYSON, C. (2004). *Neanderthals and Modern Humans, an ecological and evolutionary perspective*. Cambridge University Press, p. 255.
- FIZET, M.; MARIOTTI, A.; BOCHERENS, H.; LANGE-BADRÉ, B.; VANDERMEERSCH, B.; BOREL, J. P.; BELLON, G. (1995). «Effect of diet, physiology and climate on carbon and nitrogen isotopes of collagen in a late Pleistocene anthropic paleoecosystem (France, Charente, Marillac)». *Journal of Archaeological Science*, 22, p. 67-79.
- FOGEL, M. L.; TUROSS, N.; OWSLEY, D. W. (1989). «Nitrogen isotope traces of human lactation in modern and archeological populations». *Ann. Rep. Dir. Geophys. Lab., Carnegie Institution* 1988-1989. p. 111-117.
- HIGHAM, T.; BRONK RAMSEY, C.; KARAVANIC, I.; SMITH, F. H.; TRINKAUS, E. (2006). «Revised direct radiocarbon dating of the Vindija G1 Upper Paleolithic Neandertals». *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 103, p. 553-557.
- HOCKETT, B.; HAWS, J. A. (2005). «Nutritional ecology and the human demography of Neandertal extinction». *Quat. Int.*, 137, p. 21-34.
- KLEIN, R. G. (2000). «Archeology and the evolution of Human behavior». *Evol. Anthropol.*, 9, p. 17-36
- KOCH, P. L.; FOGEL, M. L.; TUROSS, N. (1994). «Tracing the diets of fossil animals using stable isotopes». Dins: LAJTHA, K.; MICHENER, B. (eds.). *Methods in Ecology*. Oxford: Blackwell Scientific Press, p. 63-92.
- LANGBROEK, M. (2001). «Debating neandertals and modern humans in Late Pleistocene Europe». *Archaeol. Dialogues*, 8, p. 123-151.
- LIEBERMAN, D. E.; SHEA, J. J. (1994). «Behavioral differences between archaic and modern humans in the Levantine Mousterian». *American Anthropologist*, 96, p. 300-332
- MILTON, K. (1999). «A hypothesis to explain the role of meat-eating in human evolution». *Evolutionary Anthropology*, 8, p. 11-21.
- NIELSEN-MARSH, C. M.; RICHARDS, M. P.; HAUSCHKA, P. V.; THOMAS-OATES, J. E.; TRINKAUS, E.; PETTIT, P. B.; KARAVANIC, I.; POINAR, H.; COLLINS, M. J. (2005). «Osteocalcin protein sequences of Neandertals and modern primates». *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 102, p. 4409-4413.
- PATOU-MATHIS, M. (2006). «Comportements de subsistance des Néandertaliens du niveau châtelperronien de Saint-Césaire (Charente-Maritime)». *Munibe (Antropologia-Arkeologia)*, 57, p. 197-204.
- PUECH, P. F.; PRONE, A.; KRAATZ, R. (1980). «Microscopie de l'usure dentaire chez l'Homme fossile: bol alimentaire et environnement». *C. R. Acad. Sci. Paris*, 290, p. 1.413-1.416.
- RAGIR, S. (2000). «Diet and food preparation: rethinking early hominid behavior». *Evolutionary Anthropology*, 9, p. 153-155.
- RICHARDS, M. P.; PETTIT, P. B.; TRINKAUS, E.; SMITH, F. H.; PAUNOVIC, M.; KARAVANIC, I. (2000). «Neandertal diet at Vindija and Neandertal predation: The evidence from stable isotopes». *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 97, p. 7.663-7.666.
- ROEBROEKS, W. (2001). «Hominid behaviour and the earliest occupation of Europe». *J. Hum. Evol.*, 41, p. 437-461.
- SMITH, F. H.; TRINKAUS, E.; PETTIT, P. B.; PAUNOVIC, M. (1999). «Direct radiocarbon dates for Vindija G1 and Velika Pecina Late Pleistocene hominid remains». *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 96, p. 12281-12286.
- STRAUSS, L. G. (2005). «A mosaic of change: the Middle-Upper Paleolithic transition as viewed from New Mexico and Iberia». *Quat. Int.*, 137, p. 47-67.
- TRINKAUS, E.; MOLDVAN, O.; MILOTA, S.; BILGAR, A.; SARCINA, L.; ATHREYA, S.; BAILEY, S. E.; RODRIGO, R.; MIRCEA, G.; HIGHAM, T.; BRONK RAMSEY, C.; VAN DER PLICHT, J. (2003). «An early modern human from the Pesteră cu Oase, Romania». *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 100, p. 11231-11236.
- VRBA, E. S. (1985). «Ecological and adaptative changes associated with early hominid evolution». Dins: DELSON, E. (ed.). *Ancestors, the hard evidence*. New York: Alan R. Liss, Inc., p. 63-71.
- WALKER, A. (1981). «Diet and teeth. Dietary hypothesis and human evolution». *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, B292, p. 57-64.

Hervé BOCHERENS. Doctorat l'any 1992 en paleontologia a la Universitat Pierre-et-Marie Curie (París). L'any 2000 rep l'habilitació per a dirigir recerques a la mateixa universitat. Investigador del CNRS a l'*Institut des Sciences de l'Évolution*, de la Universitat de les Ciències i Tècniques del Llenguadoc, Montpellier (França). L'any 2005 va rebre el Premi de la Recerca de la Fundació Alexander von Humboldt. Actualment fa una estada a la Universitat de Tübingen (Alemanya).

Titol original: *Isotopes stables du carbone et de l'azote et paléo-alimentations humaines: application aux Néandertaliens*.

Traducció de Miquel Molist.