

Comportements alimentaires au Néolithique : nouveaux résultats dans le Bassin parisien à partir de l'étude isotopique ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) de la nécropole de Gurgy « Les Noisats » (Yonne, V^e millénaire av. J.-C.)

Dietary Patterns in the Neolithic: New Isotopic Evidence ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) from the “Les Noisats” Necropolis at Gurgy in the Paris Basin (5th Millennium BC)

L. Rey · G. Goude · S. Rottier

Reçu le 19 septembre 2015 ; accepté le 4 octobre 2016
© Société d'Anthropologie de Paris et Lavoisier SAS 2016

Résumé Les comportements alimentaires de la population néolithique de Gurgy « Les Noisats » (Yonne, V^e millénaire av. J.-C.) sont étudiés à travers l'analyse des ratios isotopiques du collagène osseux de 40 sujets. Cette nécropole correspond à l'une des plus importantes du Néolithique français : elle compte 126 inhumations primaires sur une période d'occupation de près d'un millénaire. Au cœur d'une région située à l'intersection entre plusieurs cultures, la grande diversité des dispositifs funéraires et du mobilier atteste des multiples influences alentour. Les résultats isotopiques ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) des humains comparés à la faune régionale soulignent l'importance des protéines animales issues de l'élevage (viande ou produits laitiers) — voire de poissons d'eau douce — dans le régime alimentaire. La très faible variation des valeurs enregistrée au sein de la population montre une grande homogénéité, rarement mise en évidence pour cette période, indiquant la consommation de ressources similaires pour l'ensemble des individus étudiés. La comparaison de ces données avec les paramètres biologiques et funéraires dégage toutefois quelques tendances, notamment en fonction de l'âge et du sexe des défunts, ainsi que de la chronologie.

Mots clés Alimentation · Néolithique · Bassin parisien · Isotope stable

Abstract This study investigates the dietary patterns of the Neolithic population at the “Les Noisats” site at Gurgy in the Paris Basin (5th millennium BC), using stable isotope analysis of bone collagen ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$; $N = 40$). This Neolithic necropolis is one of the largest currently known in France and contains 126 burials covering a period of occupation of roughly one millennium. The site is located at a point where several cultures intersect and has produced a substantial variety of grave goods and burial practices that attest to multiple influences. Compared to a regional isotopic data set on the regional fauna, our results show the importance of animal proteins from livestock (meat and dairy products) in the human diet at the time, which probably also included freshwater fish. The low $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ ranges recorded for this population indicate considerable homogeneity, which has rarely been demonstrated for the Neolithic. The comparison with bioarchaeological parameters did, however, reveal some distinctive trends, especially in relation to age, sex, and chronology.

Keywords Diet · Neolithic · Paris Basin · Stable isotope

Introduction

Les études paléolithiques offrent d'importants renseignements sur les modes de vie des populations du passé. D'une part, l'alimentation globale d'un groupe reflète l'exploitation du milieu naturel et le type d'économie de celui-ci ; d'autre part, les variations alimentaires observées au sein du groupe peuvent mettre en évidence les différences sociales susceptibles de se refléter à plusieurs niveaux : stratification de la société, divisions des tâches, états sanitaires, habitudes et choix individuels. Plusieurs disciplines s'attachent à caractériser les régimes alimentaires des populations du passé : l'étude macro- et microscopique des restes fauniques et

L. Rey (✉) · S. Rottier
PACEA - UMR 5199, université de Bordeaux,
allée Geoffroy Saint-Hilaire, CS 50023,
F-33615 Pessac cedex, France
e-mail : leonie.rey@u-bordeaux.fr

G. Goude
Aix Marseille Univ, CNRS, Minist Culture & Com, LAMPEA,
LAMPEA UMR 7269, MMSH, 5 rue du Château de l'Horloge,
BP 647, F-13094 Aix-en-Provence cedex 02, France

botaniques (archéozoologie, carpologie, palynologie ; [e.g. 1–3]), l'étude technologique et tracéologique de l'outillage lithique [e.g. 4,5] et des récipients céramiques [e.g. 6], l'analyse chimique des résidus organiques piégés dans les poteries [e.g. 7], l'étude de l'état sanitaire buccodentaire et squelettique des populations humaines [e.g. 8,9] ou encore l'analyse du tartre [e.g. 10,11] ou des micro-usures dentaires [e.g. 12] constituent autant d'indices sur les ressources disponibles et consommées par l'homme ainsi que sur ses habitudes alimentaires. Toutefois, ces données concernent en général la nature des repas des communautés et non les proportions et les spécificités individuelles, ou bien renvoient à des périodes de courte durée (quelques jours ou semaines). Par ailleurs, la caractérisation des repas des populations anciennes est soumise aux biais de conservation qui impactent généralement ces restes.

La mesure des concentrations isotopiques enregistrées dans les tissus osseux et dentaires vient enrichir ce tableau et propose une vision directe et individuelle de l'alimentation. Certaines ressources alimentaires ont des teneurs isotopiques distinctes (e.g. viandes, végétaux, poissons) qui s'enregistrent dans les tissus des consommateurs. Ainsi, l'analyse de ces tissus permet de replacer chaque individu dans la chaîne alimentaire [13] et d'accéder aux variations intragroupes, souvent tributaires de paramètres socioculturels [14–16].

En France, les études isotopiques portant sur les comportements alimentaires au Néolithique se développent depuis une quinzaine d'années ([17–20] ; voir Goude et Fontugne, 2016, pour une synthèse [21]). La vallée de l'Yonne (sud-est du Bassin parisien), dans laquelle est implantée la nécropole de Gurgy « Les Noisats » (à 5 km au nord d'Auxerre ; Fig. 1), n'avait jusqu'à ce jour pas encore fait l'objet d'analyses isotopiques. Elle revêt pourtant un intérêt particulier dans l'étude des sociétés néolithiques : sa position géographique la place à la confluence des deux grands courants de néolithisation et des diverses cultures qui en découlent (Matériel supplémentaire 1) ; la concentration exceptionnelle de sites mis au jour sur le secteur, notamment néolithiques (voir Le Roy, 2015, fig. 26 p. 147 [22]), souligne sa richesse archéologique ; enfin, des spécificités locales sur le plan funéraire et culturel ont été mises en évidence (types sépulcraux et mobilier retrouvés dans la région renvoyant à différentes sphères, au sud et au nord-Est) [23]. Dans ce contexte, la nécropole des Noisats (fin du Néolithique ancien–Néolithique moyen I) occupe elle-même une place majeure. Avec plus de 120 sépultures mises au jour sur un total de 220 dans toute la région, elle constitue le plus gros ensemble funéraire régional et l'un des plus importants pour tout le Néolithique français (Matériel supplémentaire 2) [24,25]. Par ailleurs, le site semble avoir été occupé pendant près d'un millénaire, les datations radiométriques et la typologie du mobilier plaçant les inhumations dans une fourchette allant de 5200 à

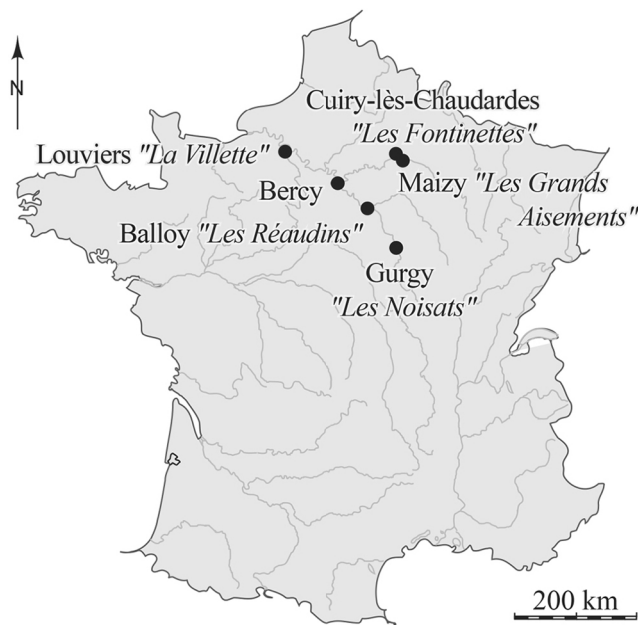


Fig. 1 Localisation de la nécropole de Gurgy « Les Noisats » et des différents sites ayant fourni les données isotopiques utilisées pour la création du référentiel régional / Location of the “Les Noisats” necropolis at Gurgy and of the different sites that provided the isotopic dataset used to create the regional baseline

3800 av. J.-C. [26]. La nécropole compte en outre des dispositifs funéraires variés et une grande diversité du mobilier (inédite pour cette période) qui témoignent de l'influence des multiples cultures alentour (RRBP¹, VSG², Cerny, Chaséen, Grossgartach, Roessen... ; Matériel supplémentaire 1) et de réseaux d'échange à longues distances [27–29]. À la lumière de ces informations, aucune attribution culturelle spécifique n'a pu être proposée pour cette nécropole.

L'objectif de ce travail est double. Dans un premier temps, il s'agit de discuter du régime alimentaire des humains de Gurgy à l'échelle populationnelle. L'indigence des restes à fonction culinaire (animaux, végétaux, céramiques, outils) retrouvés dans la nécropole et les sites voisins contemporains n'a pas consenti d'étude ciblée sur les modalités de subsistance locales. Ainsi, les résultats des analyses isotopiques (C et N) du collagène osseux des humains seront comparés à ceux des animaux disponibles dans le Bassin parisien (environnement similaire) pour tenter une première caractérisation du type d'économie locale. L'apport de résultats isotopiques sur les humains, inédits dans cette région, permettra non seulement d'enrichir le corpus de données pour le Néolithique européen, mais également de confronter ces résultats avec ce qui est connu pour les groupes humains des régions voisines, dans le but de replacer la nécropole

¹ Rubané récent du Bassin parisien.

² Villeneuve-Saint-Germain.

dans le paysage « isotopique » français et limitrophe. Ce dernier point sera discuté au regard des caractéristiques chronoculturelles locales, qui sous-tendent un particularisme régional déjà évoqué [23].

Le second objectif concerne la variabilité humaine intrapopulationnelle. Il vise à mettre en évidence les variations isotopiques entre les individus de la nécropole qui permettraient d'identifier des groupes ayant des pratiques alimentaires distinctes, pouvant refléter de potentielles différences sociales et/ou des origines diverses. Le nombre de sépultures recensées dans la nécropole, la durée d'occupation apparemment longue du site et la diversité des dispositifs funéraires rencontrés (positions et orientations des sujets, structures funéraires, mobilier renvoyant à diverses sphères culturelles et géographiques) laissent envisager une population socialement diversifiée, sans pour autant que des catégories sociales aient pu être identifiées. L'objectif ici est de déterminer si le schéma isotopique suit — ou non — cette apparente diversité de la population et éventuellement de déceler des spécificités en lien avec les paramètres biologiques, funéraires et chronologiques des inhumés qui permettraient d'identifier des statuts sociaux.

Matériel et méthodes

Approche isotopique de l'alimentation

La mesure des rapports isotopiques du carbone et de l'azote ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) dans le collagène osseux et son interprétation se fondent sur plusieurs principes acquis depuis de nombreuses années [13,30–32].

Les ressources alimentaires peuvent avoir des teneurs isotopiques distinctes (e.g. légumineuses/céréales/viandes/poissons) qui sont enregistrées dans les tissus des consommateurs et restent inchangées au cours du temps, si l'état de conservation est correct. Les os étant en perpétuel remaniement, les ratios isotopiques de l'alimentation qu'ils enregistrent se renouvellent avec eux. Le dosage isotopique des os humains renseigne donc sur l'alimentation moyenne d'un individu au cours des dernières années de sa vie (durée proportionnelle au taux de renouvellement, qui s'allonge avec l'âge des sujets) [33,34]. En outre, la mesure des teneurs isotopiques du collagène, protéine majoritaire de l'os, renseigne principalement sur la part protéique de l'alimentation [35].

Les ratios isotopiques du carbone et de l'azote chez les végétaux dépendent de leur type photosynthétique (C3, C4, CAM) [36–38], de leur espèce (légumineuses ou non fixatrices d'azote) [39,40] et de nombreux paramètres environnementaux [41–43]. Lors de la consommation des plantes par les herbivores, puis des proies par leurs prédateurs, ces différents teneurs se répercutent le long de la chaîne alimentaire avec un enrichissement à chaque maillon de la chaîne

(de 0 à 1 ‰ pour le carbone et de 3 à 5 ‰ pour l'azote) [39,44–47]. En mesurant les $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ enregistrés dans les tissus des consommateurs, il est donc possible de connaître le milieu dans lequel ils ont puisé leurs ressources et de déterminer leur place dans la chaîne trophique.

Toutefois, de nombreux paramètres environnementaux et climatiques modifient les valeurs isotopiques [42,43,48,49]. Pour éviter les biais d'interprétation dus à des spécificités régionales, il est nécessaire de bien connaître le milieu et, dans la mesure du possible, de comparer les valeurs des humains avec celles de la faune locale et contemporaine [41] (e.g. [19,21,50]).

Sélection du matériel : le référentiel faunique et les humains

Très peu de restes animaux (hors mobilier) ont été retrouvés dans la nécropole et ont pu être déterminés. Un seul de ces vestiges était disponible (*Bos sp.*, fragment de mandibule) et a été échantillonné pour cette étude. Pour combler cette lacune, les données régionales issues de la littérature ont été utilisées pour établir le référentiel de base (Tableau 1). Il s'agit des valeurs isotopiques de la faune de quatre sites contemporains (au moins en partie) de la nécropole : Cuiry-lès-Chaudardes « Les Fontinettes » (Aisne, Néolithique ancien/RRBP), Maizy « Les Grands Aisements » (Aisne, Néolithique moyen/Michelsberg), Bercy (Paris, Néolithique moyen/Chasséen) [51] et « Louviers » La Villette (Eure, Néolithique moyen/Chasséen) [19]. Comme Les Noisats, ces sites sont tous situés dans le Bassin parisien, territoire homogène par sa géologie et son environnement (Fig. 1).

Pour l'analyse des restes humains, 42 individus ont été sélectionnés selon plusieurs critères, de façon à avoir un spectre des variations le plus large possible et le plus représentatif de la population (Tableau 2). Les sujets ont d'abord été sélectionnés en fonction de l'état de conservation de leur squelette, puis selon des critères biologiques (toutes classes d'âge au-delà de cinq ans pour éviter le signal de l'allaitement, sex-ratio de la sélection similaire à celui de la population totale ; Matériel supplémentaire 3 (1) et (2)), archéologiques (toutes les structures funéraires [Matériel supplémentaire 3 (3)], les positions et orientations des défunts [Matériel supplémentaire 4], et les types — ou l'absence — de mobilier [Matériel supplémentaire 3 (4)] sont représentés), chronologiques (les sujets datés ont été privilégiés et toutes les phases sont représentées ; Matériel supplémentaire 5), génétiques (les sujets typés ont été privilégiés et presque tous les haplogroupes sont représentés ; Matériel supplémentaire 3 (5)) et selon leur répartition spatiale dans la nécropole (Matériel supplémentaire 2). Les prélèvements ont été effectués sur la partie corticale de la diaphyse fémorale (ou tibiale dans deux cas).

Tableau 1 Valeurs isotopiques moyennes, minimales et maximales de la faune régionale utilisée comme référentiel, d'après les données de la littérature [19,51] / *Mean, minimum and maximum isotopic values for regional fauna used as references, based on data in the literature [19,51]*

Espèce	Site	Effectif (<i>n</i>)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)			$\delta^{15}\text{N}$ (‰)		
			Min	Moy \pm écart-type	Max	Min	Moy \pm écart-type	Max
Bœuf	Maizy	4	-22,3	-22,0 \pm 0,3	-21,6	5,4	6,2 \pm 0,8	6,9
	Cuiry	8	-23,5	-23,0 \pm 0,5	-22,2	5,1	6,2 \pm 0,7	7,0
	L. Villette	9	-23,1	-22,1 \pm 0,6	-21,2	5,1	7,0 \pm 1	8,1
	Bercy	9	-23,2	-22,5 \pm 0,4	-21,9	5,5	6,6 \pm 0,6	7,5
	TOT.	30	-23,5	-22,4 \pm 0,6	-21,2	5,1	6,6 \pm 0,8	8,1
Porc	L. Villette (TOT.)	3	-21,0	-20,6 \pm 0,4	-20,3	5,8	7,6 \pm 1,8	9,4
Mouton	L. Villette (TOT.)	2	-21,6	-21,5 \pm 0,1	-21,4	7,7	7,7 \pm 0	7,7
Chien	L. Villette (TOT.)	3	-21,0	-20,8 \pm 0,2	-20,7	9,1	9,5 \pm 0,5	10,0
TOT. dom. (chien exclu)		35	-23,5	-22,2 \pm 0,8	-20,3	5,1	6,7 \pm 1	9,4
Aurochs	Maizy	3	-24,5	-24,1 \pm 0,4	-23,8	5,3	6,2 \pm 1,2	7,6
	L. Villette	4	-23,6	-23 \pm 0,4	-22,7	6,7	7,0 \pm 0,2	7,1
	TOT.	7	-24,5	-23,5 \pm 0,7	-22,7	5,3	6,6 \pm 0,8	7,6
Sanglier	Maizy	3	-24,5	-22,6 \pm 1,8	-21,0	5,9	6,9 \pm 0,9	7,5
	L. Villette	3	-21,4	-20,9 \pm 0,5	-20,4	5,8	7,0 \pm 1,2	8,2
	TOT.	6	-24,5	-21,8 \pm 1,5	-20,4	5,8	7,0 \pm 0,9	8,2
Cerf	Maizy	4	-22,9	-22 \pm 1,2	-20,2	5,9	7,2 \pm 1,5	9,2
	Cuiry	5	-24,0	-22,7 \pm 1,3	-20,6	5,5	6,3 \pm 0,6	7,0
	L. Villette	5	-22,9	-22,3 \pm 0,4	-22,0	5,1	5,9 \pm 0,6	6,8
	TOT.	14	-24,0	-22,4 \pm 1,0	-20,2	5,1	6,4 \pm 1	9,2
Chevreuril	Cuiry	5	-24,5	-23,8 \pm 0,7	-22,8	6,8	8,0 \pm 0,8	9,1
	L. Villette	1	-23,9	-23,9	-23,9	6,6	6,6	6,6
	TOT.	6	-24,5	-23,8 \pm 0,6	-22,8	6,6	7,8 \pm 0,9	9,1
Cheval	L. Villette (TOT.)	2	-24,6	-23,7 \pm 1,3	-22,8	4,6	5,5 \pm 1,3	6,4
Blaireau	Cuiry (TOT.)	4	-22,4	-20,3 \pm 1,5	-19,1	8,0	9,8 \pm 1,3	11,0
Loup	L. Villette (TOT.)	1	-21,2	-21,2	-21,2	10,8	10,8	10,8

TOT. : total / total ; dom. : domestique / domesticated.

Analyses et traitement des données

Les fragments ont été nettoyés et broyés manuellement, et le collagène a été extrait selon la méthode Longin [52] réadaptée par Bocherens et al. [53]. Les teneurs élémentaires (%C et %N) et isotopiques ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) ont été mesurées au laboratoire IsoAnalytical (Royaume-Uni) par un spectromètre de masse isotopique couplé à un analyseur élémentaire Europa Scientific (EA-IRMS). La précision analytique est de $\pm 0,1$ ‰ pour $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ et les standards sont calibrés sur les standards internationaux IAEA-N1 et IAEA-CH6..

Pour tester statistiquement la distribution des valeurs isotopiques en fonction des différents paramètres, un test préalable de normalité a été effectué : les valeurs suivent bien une loi normale (Shapiro-Wilk, $p > 0,05$, $n = 40$). Au regard de cette distribution, la comparaison de moyennes de deux groupes indépendants (e.g. H/F) a été effectuée avec le test paramétrique de Student (valeurs significativement différen-

tes pour $p < 0,05$, avec $p_{\text{Fisher}} > 0,05$ prérequis). Pour tester la corrélation entre les valeurs isotopiques et les différents paramètres (qualitatifs ou quantitatifs), les rapports de corrélation, coefficients de Pearson, Kendall et Spearman (selon le type de variable) ont été appliqués (plus le résultat est proche de 1 ou -1, plus les données sont corrélées ; plus il est proche de 0, moins elles le sont ; corrélation significative pour $p < 0,05$). L'ensemble de l'analyse statistique a été réalisé avec les logiciels R v2.15.3 et Statistica v6.1.

Résultats

Sur les 43 échantillons analysés, 41 respectent les critères de conservation communément admis (Tableau 2 ; rendement d'extraction > 10 mg/g, %C > 30 , %N > 11 et C/N entre 2,9 et 3,6) [54,55]. À l'inverse, les sujets 207B et 268B ont été exclus de l'étude. Pour les échantillons retenus, les valeurs

Tableau 2 Principales données bioarchéologiques, résultats isotopiques et critères de conservation du collagène des humains et de la faune de Gurgy. Les lignes en gras correspondent aux deux individus exclus de l'analyse. *d'après Rivollat et al. [26] / *Main bioarchaeological data, isotopic results and state of preservation of human and animal collagen at Gurgy. Bold lines represent the two individuals excluded from the analysis. *after Rivollat et al. [26]*

ID	Sexe	Âge	Datation (cal. BC)*	Structure	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	%C	%N	C/N	Rdt (mg/g)
201	H	16–18	5199–4845	Alcôve	–20,8	12,2	37,0	13,2	3,2	18,7
202	H	20–49	4520–4355	Alcôve	–20,6	11,9	40,3	14,8	3,2	28,8
207A	H	30+	4317–4046	Alcôve	–20,9	11,7	35,2	12,8	3,2	11,7
209	H	20–49	4597–4449	Alcôve	–20,7	12,3	41,6	15,2	3,2	24,4
216	H	30+	4829–4623	Cuvelée	–20,7	12,1	41,0	15,1	3,2	28,3
220	H	20–59	4539–4367	Fosse	–20,5	12,3	40,6	14,9	3,2	43,0
221B	H	30+	4906–4689	Fosse	–20,7	12,8	38,8	13,7	3,3	17,8
224	H	20+		Fosse	–20,7	12,0	41,2	14,9	3,2	49,5
231A	H	20+		Fosse	–20,5	12,4	40,8	14,5	3,3	55,4
240	H	20–49	4781–4551	Fosse	–20,9	12,0	39,5	14,0	3,3	36,4
243A	H	30+	4829–4623	Fosse	–20,6	11,2	46,8	17,3	3,1	25,3
253	H	20–59	4235–3984	Alcôve	–20,8	12,0	39,1	14,1	3,2	43,1
257	H	30+	4826–4609	Fosse	–20,8	12,4	38,3	13,9	3,2	29,3
265	H	30+		Fosse	–20,6	12,3	41,1	15,1	3,2	37,1
266	H	20+		Fosse	–20,4	12,5	38,4	14,0	3,2	49,3
294	H	20+		Fosse	–20,8	11,4	35,1	12,6	3,2	57,2
296	H	30+	4357–4170	Fosse	–20,6	12,0	41,2	15,2	3,2	45,9
302	H	50+		Fosse	–20,5	11,6	43,5	16,2	3,1	49,4
317	H	30+	4784–4546	Fosse	–20,7	12,1	39,7	14,6	3,2	35,7
320	H	20–59		Fosse	–20,5	11,9	40,4	14,8	3,2	47,5
207B	F	20+		Alcôve	–21,7	10,4	33,9	10,4	3,8	4,0
212	F	20–29		Fosse	–21,0	12,2	41,6	15,2	3,2	34,7
225	F	30+		Fosse	–20,8	11,4	38,0	13,9	3,2	41,3
232B	F	20–59	4713–4504	Fosse	–20,8	11,6	37,1	13,1	3,3	34,7
236A	F	20+		Fosse	–20,9	11,2	43,1	15,5	3,2	37,9
243B	F	20+	4795–4616	Fosse	–20,9	11,5	47,2	17,2	3,2	92,2
248	F	40+	4316–3984	Alcôve	–20,8	11,9	42,2	15,4	3,2	30,5
263	F	20+	5199–4838	Fosse	–20,8	12,1	40,0	14,6	3,2	35,9
269	F	20+		Fosse	–20,7	12,0	39,3	14,4	3,2	61,8
289B	F	30+	4772–4662	Fosse	–20,6	11,6	42,3	15,5	3,2	23,4
315	F	20+	4943–4715	Fosse	–20,7	11,9	40,9	14,8	3,2	35,8
323	F	30+		Fosse	–21,1	11,9	41,2	15,0	3,2	33,0
325	F	20–39	5041–4800	Fosse	–21,0	12,0	40,2	14,4	3,2	40,0
237A	I	20–49	4899–4706	Fosse	–21,1	12,1	41,6	14,4	3,4	26,5
249	I	20+		Fosse	–20,7	11,6	40,0	14,5	3,2	36,8
295	I	20+		Fosse	–20,7	12,1	36,7	13,4	3,2	30,6
310B	I	20+		Fosse	–20,8	12,4	43,4	15,6	3,2	42,1
277	I	10–19		Fosse	–20,6	11,2	36,9	13,3	3,2	20,4
215A		5–9		Alcôve	–20,9	11,1	38,7	13,7	3,3	19,6
215B		5–14		Cuvelée	–21,1	10,9	36,0	12,8	3,3	37,1
223		5–9	4765–4540	Fosse	–21,1	11,2	39,0	13,8	3,3	26,5
268B		10–14		Fosse	–21,4	11,5	39,5	13,2	3,5	8,7
<i>Bos sp.</i>					–23	6,7	40,3	14,7	3,2	48,7

Rdt : rendement d'extraction / *extraction yield*.

isotopiques ne sont pas corrélées aux teneurs élémentaires ni au rendement d'extraction ($p_{\text{Spearman}} > 0,05$) : leur variation n'est donc pas le résultat de l'altération diagenétique et reflète par conséquent les teneurs enregistrées du vivant des individus via leur alimentation.

La répartition des valeurs isotopiques des humains et de la faune régionale est présentée dans la Figure 2. Le bovin de Gurgy (*Bos sp.*) présente un $\delta^{13}\text{C}$ de -23‰ et un $\delta^{15}\text{N}$ de $6,7\text{‰}$. Ces valeurs sont comprises dans la variabilité régionale des bovins domestiques (de $-23,5$ à $-21,2\text{‰}$, moy $\delta^{13}\text{C} = -22,4 \pm 0,6\text{‰}$ et de $5,1$ à $8,1\text{‰}$, moy $\delta^{15}\text{N} = 6,6 \pm 0,8\text{‰}$; $n = 30$) [19,51] mais aussi dans celle des aurochs (de $-24,5$ à $-22,7\text{‰}$, moy $\delta^{13}\text{C} = -23,5 \pm 0,7\text{‰}$ et de $5,3$ à $7,6\text{‰}$, moy $\delta^{15}\text{N} = 6,6 \pm 0,8\text{‰}$; $n = 7$). Pour tous les animaux considérés, les résultats sont en accord avec la fré-

quentation d'un milieu terrestre tempéré à végétation en C_3 (aucun apport marin ou de végétaux de type C_4 n'est envisagé).

Les humains ont des valeurs qui s'échelonnent entre $-21,1$ et $-20,4\text{‰}$ pour le carbone (moy $= -20,8 \pm 0,2\text{‰}$) et entre $10,9$ et $12,8\text{‰}$ pour l'azote (moy $= 11,9 \pm 0,4\text{‰}$; Tableau 2). La comparaison des valeurs isotopiques moyennes des humains par rapport à l'ensemble des animaux domestiques régionaux ($\Delta^{15}\text{N}_{\text{humains-animaux dom.}} = 5,2\text{‰}$ et $\Delta^{13}\text{C}_{\text{humains-animaux dom.}} = 1,4\text{‰}$; $n_{\text{animaux dom.}} = 35$), et en particulier entre les humains et les bovins domestiques (espèce majoritairement consommée d'après les données archéozoologiques [voir discussion] ; $\Delta^{15}\text{N}$ et $\Delta^{13}\text{C}_{\text{humains-bovins dom.}} = 5,3$ et $1,6\text{‰}$ respectivement ; $n_{\text{bovins}} = 30$), montre une différence supérieure à un saut trophique théorique ($\Delta^{15}\text{N}_{\text{proie-prédateur}}$

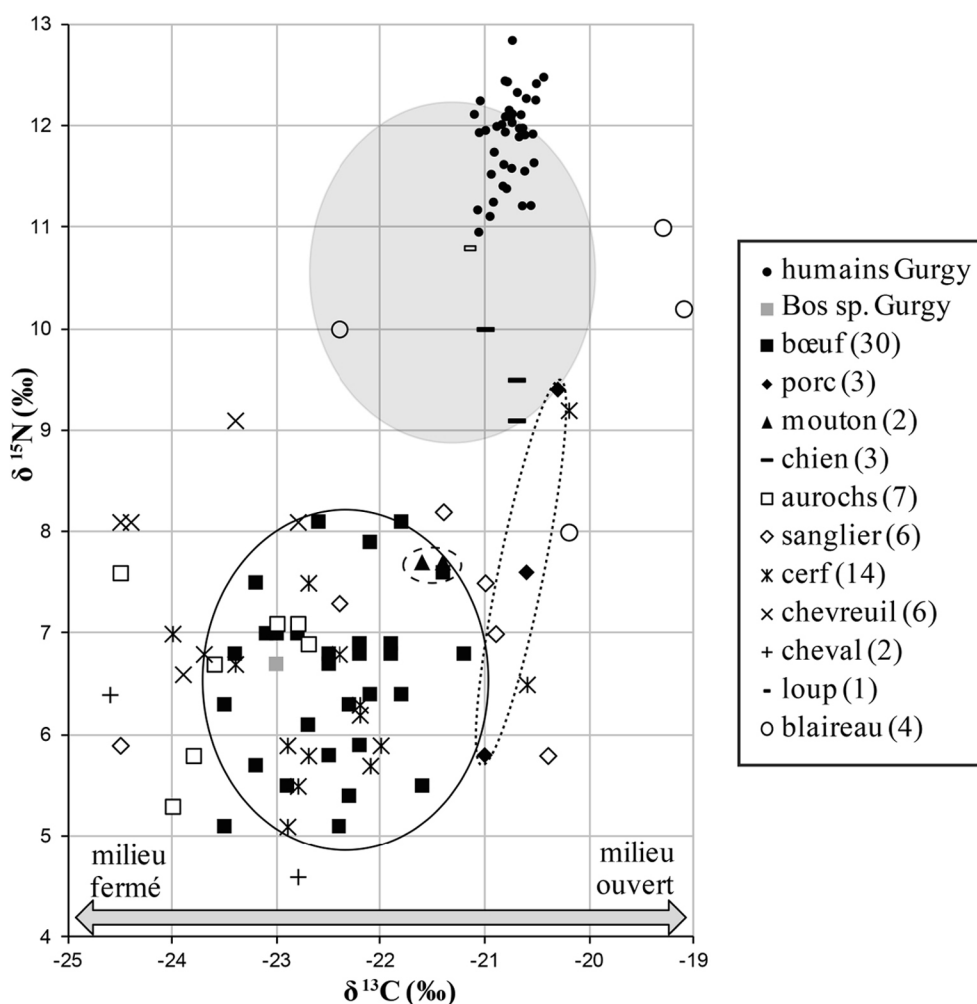


Fig. 2 Répartition des valeurs isotopiques de la faune régionale et comparaison avec les humains. Les cercles vides englobent les valeurs des espèces domestiques (trait plein = bovins, petits traits = ovins, pointillés = porcins) ; le cercle plein correspond à la consommation théorique de 100 % de protéines de bœuf selon un rapport proie-prédateur de 4 % en moyenne / *Distribution of isotopic values for the regional fauna and comparison with humans. The open circles enclose the values for domestic species (solid line = cattle, short lines = sheep, dotted line = pig); the full circle corresponds to the mean theoretical consumption of 100% beef protein based on a prey-predator ratio of 4% on average*

th. = 3 à 5 ‰ et $\Delta^{13}\text{C}_{\text{proie-prédateur th.}} = 0$ à 1 ‰). Sur la Figure 2 est représentée la différence théorique moyenne attendue entre une proie et son prédateur (4 ± 1 ‰) pour une consommation de 100 % de protéines de viande de bœuf. La dispersion des valeurs des humains outrepassa cette limite théorique moyenne, ce qui indique que des ressources de teneurs en ^{15}N plus élevées ont dû faire partie de l'alimentation en complément de celle-ci. Plusieurs hypothèses seront proposées ci-après (voir discussion).

La variabilité totale des valeurs isotopiques des humains est de 0,7 ‰ pour le $\delta^{13}\text{C}$ et de 1,9 ‰ pour le $\delta^{15}\text{N}$, ce qui reflète une très grande homogénéité pour l'ensemble de la population. Le croisement des valeurs isotopiques avec les données biologiques révèle toutefois quelques tendances. La Figure 3A montre que les femmes présentent des valeurs ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) globalement plus basses que celles des hommes et une variation en $\delta^{15}\text{N}$ moins importante que ces derniers. Bien que les valeurs moyennes de ces deux groupes semblent peu distinctes, la différence est statistiquement significative ($p_{\text{Student}} < 0,01$ pour le $\delta^{13}\text{C}$ et $p_{\text{Student}} < 0,05$ pour le $\delta^{15}\text{N}$). Par ailleurs, il existe une nette distinction entre les immatures de 5 à 15 ans et les sujets de plus de 15 ans ; différence statistiquement significative ($p_{\text{Student}} \delta^{13}\text{C} < 0,01$ et $p_{\text{Student}} \delta^{15}\text{N} < 0,001$; Fig. 3B) bien que la classe [5–15 ans] ne soit représentée que par trois individus (le 268B a été exclu de l'analyse). Les autres classes d'âge ne semblent pas présenter de valeurs isotopiques distinctes les unes des autres.

À Gurgy, le croisement des données archéanthropologiques disponibles [22] a révélé une faible différenciation populationnelle, avec des traitements funéraires relativement similaires au cours du temps et au sein de la population. Néanmoins, quelques disparités semblent exister entre des groupes d'individus (certaines structures ou éléments de mobilier sont plutôt associés à un sexe, certaines tombes semblent rassemblées en petits groupes au sein de la nécropole — indépendamment de l'âge ou du sexe des défunts, un individu semble occuper une position centrale dans celle-ci). Les caractéristiques funéraires plutôt associées à un sexe (structures à alcôves, cuvelées ou de grande taille majoritairement occupées par des hommes ; outils lithiques plutôt associés à ces derniers ; parure en coquillage plutôt associée aux femmes) ont été croisées avec les résultats isotopiques pour chaque sexe séparément (Matériel supplémentaire 6 ; les immatures, n'étant que trois, ne sont pas représentés). Pour les hommes, ces paramètres n'induisent pas de distinction isotopique particulière (Matériel supplémentaire 6 (A) ; $p_{\text{Student}} \delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N} > 0,1$; $n = 20$). Parmi les femmes, celles inhumées avec des objets de parure ($n = 4$) présentent toutes des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ dans la moitié supérieure de la gamme de variation ($\delta^{15}\text{N} > 11,9$ ‰ ; Matériel supplémentaire 6 (B2)). La différence du $\delta^{15}\text{N}$ moyen entre les femmes avec et sans parure est statistiquement significative ($p_{\text{Student}} \delta^{15}\text{N} < 0,05$; $p_{\text{Student}} \delta^{13}\text{C} > 0,1$; $n = 12$), bien que les gammes de valeurs des deux groupes restent confondues. Pour les autres catégories (structures et autre mobilier ; Matériel

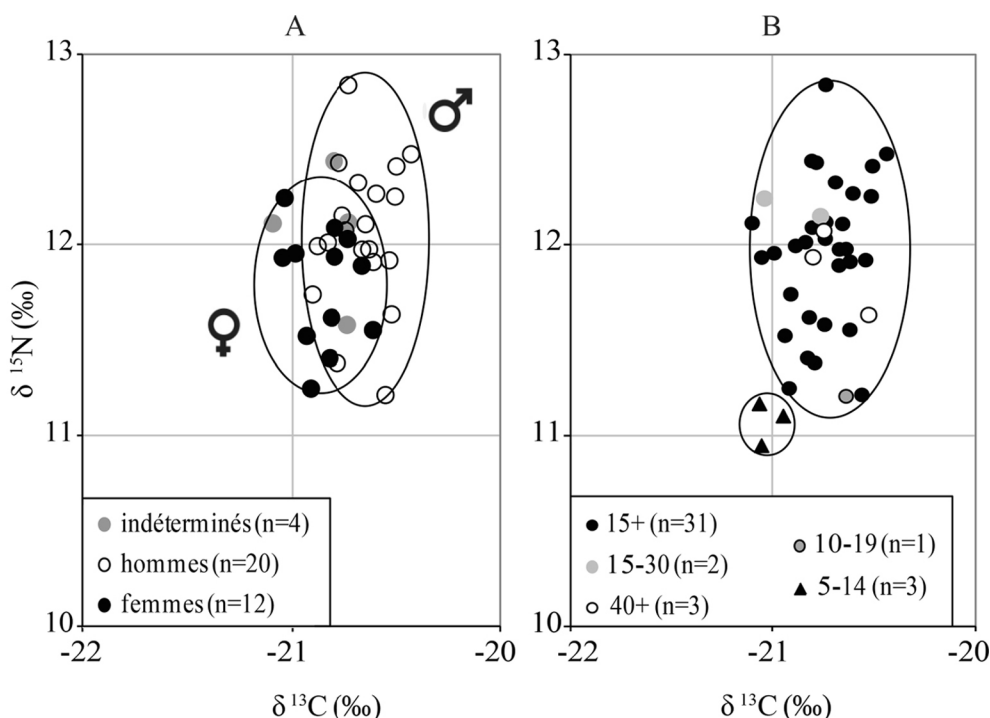


Fig. 3 Dispersion des valeurs isotopiques en fonction du sexe des adultes de plus de 15 ans (A) et de l'âge au décès (B) / *Isotope ratios by sex of individuals over 15 years of age (A) and by age groups (B)*

supplémentaire 6 (B1, B3 et B4)), les effectifs sont trop déséquilibrés pour conclure. Les autres éléments des dispositifs funéraires (taille des structures, position et orientation des sujets) ne varient pas avec le sexe [22], et ils ont été étudiés indépendamment de ce dernier critère : les résultats ne révèlent pas de corrélation avec les valeurs isotopiques (coefficients de corrélation $\leq |0,5|$, $p > 0,05$).

L'étude de la répartition des valeurs isotopiques en fonction de la chronologie ne montre pas de variation dans les moyennes du $\delta^{13}\text{C}$ et du $\delta^{15}\text{N}$ au cours du temps (Fig. 4). Toutefois, une plus large amplitude des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ est enregistrée pour la période du début du Néolithique moyen (4800–4400 cal. BC). Celle-ci s'exprime en outre par la différence marquée en $\delta^{15}\text{N}$ moyen entre hommes et femmes et une plus forte variabilité pour les hommes. Le croisement avec les données génétiques (haplogroupes disponibles ; [26]) n'a révélé aucune corrélation avec les données isotopiques (Matériel supplémentaire 7).

La variation isotopique selon la répartition spatiale des sépultures montre un équilibre entre les différents secteurs de la nécropole. En revanche, certaines tombes rassemblées entre elles sur le plan spatial³, sans distinction par âge ou par sexe, présentent des valeurs isotopiques particulièrement proches. La variation mesurée entre les individus au sein de chaque groupe étant encore plus faible ($\Delta^{15}\text{N}$ et $\Delta^{13}\text{C} < 0,5$ et $0,6$ ‰) que la variation enregistrée pour l'ensemble de la population. Par ailleurs, lorsque hommes et femmes sont associés dans un même groupe, les femmes présentent toujours des valeurs isotopiques de $\delta^{13}\text{C}$ inférieures (trois cas sur quatre) ou égales (un cas sur quatre) à celles des hommes du même groupe, ce qui corrobore les observations faites sur l'ensemble du corpus. Enfin, l'une des sépultures (221B) semble occuper une place centrale dans la nécropole (Matériel supplémentaire 2). Datée d'une phase ancienne de l'occupation (4906–4689 cal. BC) et entourée d'un espace libre (volontairement réservé ou non), c'est la plus imposante du site, et son orientation semble entraîner celle des autres tombes. Il est intéressant de noter que l'occupant de cette structure présente la valeur de $\delta^{15}\text{N}$ la plus élevée du groupe échantillonné ($\delta^{15}\text{N} = 12,8$ ‰).

Discussion

Alimentation humaine

Aucune étude environnementale complète n'ayant été réalisée au niveau local et en l'absence de restes fauniques disponibles localement, les données (environnementales) présentées et

discutées ici concernent toute l'aire géologique du Bassin parisien — la nécropole se situant à l'extrémité sud-est de celle-ci. Dans cette région au climat tempéré, les séquences polliniques montrent une anthropisation du couvert forestier limitée à certaines zones d'occupation de forte densité, sans qu'aucun défrichement massif ne soit attesté [56,57]. Les données carpologiques et palynologiques régionales attestent de la culture des céréales dès le Néolithique ancien ; plusieurs espèces, cultivées et sauvages, sont présentes dans la région (blé et orge principalement, mais aussi pois, lentilles, noisettes, herbes sauvages ; [58–60]). La découverte de matériel agricole témoigne de cette pratique [61].

Par ailleurs, les données archéozoologiques montrent que l'élevage devient la principale source de produits carnés, même si la pratique de la chasse (principalement des cervidés) n'est pas complètement abandonnée [62,63]. Celle-ci devient moins usuelle, particulièrement au Néolithique moyen, détenant principalement un rôle social et symbolique [64]. L'étude archéozoologique de plusieurs sites (VSG, Cerny et Chaséan) atteste de l'exploitation prépondérante du bœuf (*Bos taurus*) puis du porc (*Sus scrofa domesticus*), l'exploitation des moutons (*Ovis aries*) et chèvres (*Ovis capra*) étant minoritaire [63,65,66]. Plusieurs études témoignent en outre d'une gestion mixte du cheptel, indiquant une bonne maîtrise de l'élevage des bovins et de l'exploitation laitière [63,67,68].

Dans l'étude présentée ici, les résultats isotopiques des humains comparés à ceux des animaux de la région montrent une différence moyenne supérieure à celle attendue dans le cadre d'une consommation essentiellement fondée sur les plantes et la viande de bœuf. Cette différence confère aux humains une position élevée dans le réseau trophique régional, qui peut s'expliquer par plusieurs possibilités en termes de régime alimentaire (voir ci-après). Mais avant tout, ce résultat révèle une variation entre les humains et la faune régionale (donc un niveau trophique des humains) supérieure à tout ce qui est actuellement connu en France et dans les régions limitrophes pour le Néolithique ancien et moyen (Matériel supplémentaire 8). Ce constat soulève une fois de plus la question de la place de la nécropole dans le contexte local et met en exergue l'éventualité d'un particularisme régional à maintes reprises évoqué [23]. L'analyse isotopique des restes humains des sites voisins permettra d'apporter une lumière nouvelle sur cette question.

Pour tenter de caractériser le régime alimentaire, plusieurs hypothèses peuvent être proposées (l'importance de l'écart isotopique entre les humains et la faune fournissant ici une vision équivoque de l'alimentation, avec une multitude de combinaisons possibles). D'abord, certaines ressources peuvent disposer de signatures isotopiques enrichies en azote lourd qui, en entrant de façon non négligeable dans le régime alimentaire des humains, pourraient expliquer les valeurs enregistrées ici. Parmi celles-ci, on peut citer les jeunes

³ Les regroupements spatiaux considérés ici concernent les sujets 320/323/325, 265/266/269, 220/221B, 263/257, 295/296, 215A/B et 243A/B.

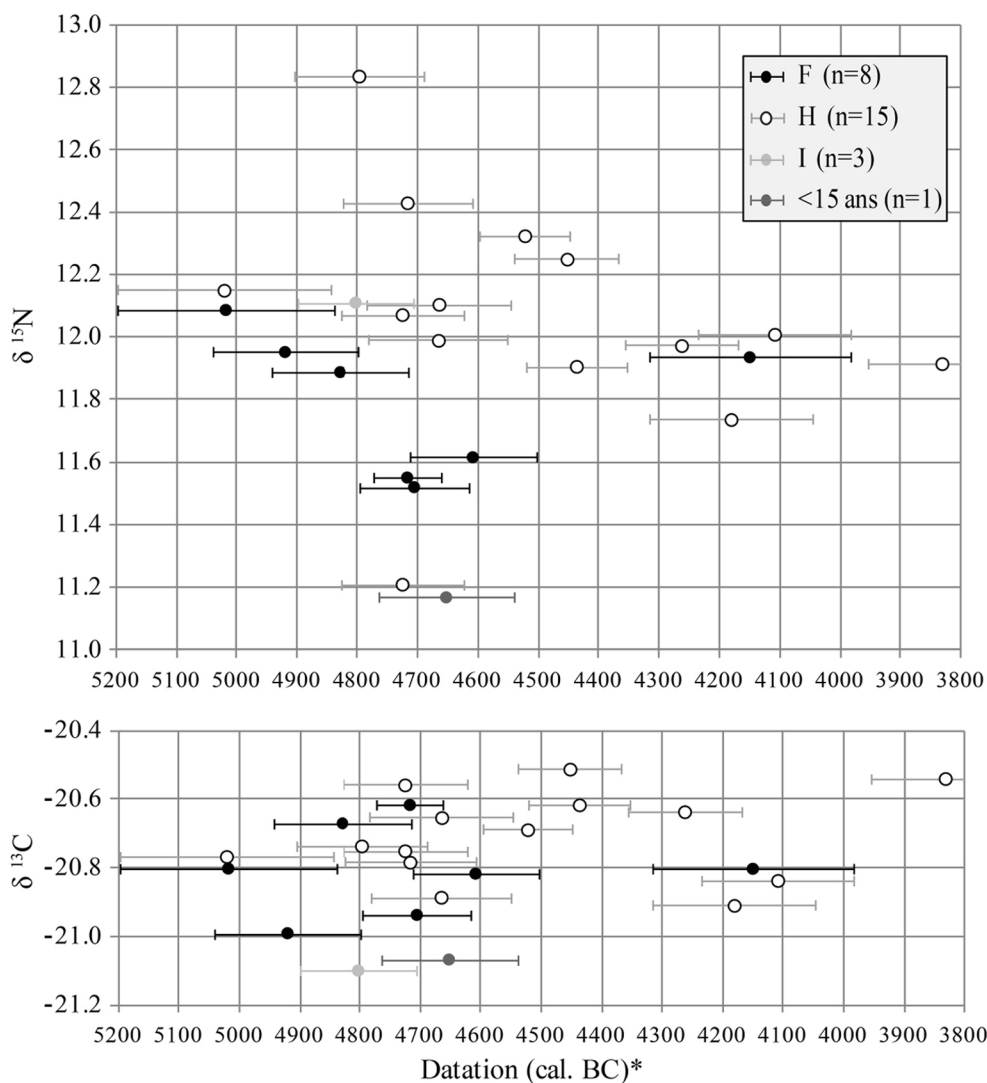


Fig. 4 Dispersion des valeurs isotopiques en fonction de la chronologie. *d'après Rivollat et al. [26] / *Isotopic ratios according to the chronology. *after Rivollat et al. [26]*

animaux domestiques non sevrés et le poisson d'eau douce (voire anadrome).

Les jeunes animaux domestiques (veau, agneau, cochon de lait) peuvent être consommés soit directement pour la recherche de viande tendre, soit dans le cadre d'une exploitation laitière (bovine essentiellement) [63,69]. Abattus au cours ou dès la fin du sevrage, le signal isotopique de l'allaitement est encore visible dans leurs tissus et leur confère des valeurs généralement supérieures à celles de la mère [70]. Ici, notons que, dans le cas d'une consommation de jeunes caprinés et/ou suinés, les animaux adultes présentent déjà des valeurs isotopiques ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) supérieures à celles des bovins (Fig. 2). Pour cette raison, il est aussi envisageable que le porc (voire que les caprinés), et notamment les jeunes, ait été consommé en plus grande quantité que dans les autres sites, influençant les résultats isotopiques rencontrés ici. Une consommation quasi exclusive de ces animaux n'est toutefois pas envisa-

geable au vu des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$, ce qui est en accord avec les données archéozoologiques.

L'exploitation de ressources dulcicoles est plus difficile à mettre en évidence. Si elle est attestée dès le Mésolithique à Noyen-sur-Seine (Seine-et-Marne) [71,72], certains auteurs ont montré qu'au Néolithique, les agriculteurs se tournent plutôt vers les produits terrestres et abandonnent la pêche (notamment sur les sites côtiers ; [73]). Cependant, dans le Bassin parisien, quatre sites VSG (situés dans les régions de l'Oise, de l'Aisne et de la Marne) ont livré des quantités significatives de restes de poisson, parmi lesquels les cyprinidés semblent les plus consommés (e.g. carpe, brème, gardon), et la saisonnalité des captures indique que la pêche a effectivement pu constituer un apport non négligeable de protéines pendant les périodes chaudes, en supplément des produits de l'élevage [74,75]. L'importante variabilité isotopique observée dans les écosystèmes aquatiques [76,77]

souligne la nécessité d'utilisation d'un référentiel local et contemporain, mais ces spécimens n'ont pas pu faire l'objet d'analyses isotopiques (vestiges indisponibles). La comparaison des teneurs isotopiques des humains de Gurgy à quelques rares valeurs d'espèces aquatiques disponibles dans la littérature (même très éloignées géographiquement et chronologiquement) [78–83] semble toutefois confirmer la possibilité d'une consommation de telles ressources (Matériel supplémentaire 9).

Malgré le fait que les $\delta^{15}\text{N}$ enregistrés chez les humains reflètent une position trophique élevée de ces derniers dans la chaîne alimentaire régionale, les ressources végétales ont probablement aussi dû faire partie de l'alimentation de façon non négligeable, comme en témoignent les divers indices archéologiques régionaux. À Gurgy, une meule a été retrouvée dans la nécropole, et le site voisin des « Grands Champs » a livré un certain nombre d'outils de mouture et d'armatures de faucille [61]. Cependant, le collagène enregistre majoritairement les teneurs isotopiques des aliments les plus riches en protéines. Les ressources animales proposant une source de protéines nettement plus élevée que les ressources végétales (80 et 20 % en moyenne, respectivement), ces dernières sont souvent masquées par le signal d'une alimentation carnée [84–86].

D'autres hypothèses, peut-être plus discutables, peuvent être avancées, comme la consommation quotidienne de parties animales présentant des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ plus élevées que la viande (muscle) telles que les abats ou la cervelle par exemple [39]. Des différences de préparations alimentaires entre l'homme et son bétail pourraient également accentuer les variations enregistrées : cuisson des aliments, certaines fermentations ou bouillies mixtes [87–89], ou encore consommation différentielle de végétaux (par exemple légumineuses/tubercules/graines [40] ou céréales éventuellement cultivées avec du fumier comme fertilisant [90–92], pour les humains versus herbe et feuilles, pour le bétail). Certaines des hypothèses proposées ci-avant ont déjà été formulées pour des sites contemporains (consommation de poisson ou de jeunes animaux, utilisation de fertilisant ; [18,80]) pour expliquer de fortes valeurs isotopiques par rapport à la faune associée, mais dans chaque cas, la variation « humain–animal » n'excède pas celle rencontrée aux Noisats (Matériel supplémentaire 8).

Ainsi, la population de Gurgy semble fonder son économie de subsistance sur des produits d'origine animale issus de l'élevage majoritairement (produits de boucherie/laitages) de niveau trophique élevé, et/ou de la pêche, mais la part des ressources végétales, pauvres en protéines, n'est pas connue. L'importance de l'écart enregistré, inédit pour cette période, consent une pluralité de croisements alimentaires possibles pour expliquer ces valeurs. L'apport d'analyses complémentaires (ratios isotopiques du soufre, mesure des éléments traces, du $\delta^{15}\text{N}$ spécifique des acides aminés,

étude du tartre et des micro-usures dentaires) permettra d'apporter de nouveaux éléments pour étayer les différentes hypothèses proposées ici et tenter de répondre à la question de la consommation de poisson, des jeunes animaux non sevrés, de la proportion des différentes espèces domestiques (bovinés vs suinés vs caprinés) et de la part des végétaux. De plus, de nouvelles analyses réalisées sur les animaux locaux et sur les humains des sites voisins permettront, d'une part, de confirmer le référentiel de base, d'autre part, de considérer la place de la nécropole dans la vallée de l'Yonne et la position de cette dernière par rapport aux régions alentour.

Variabilité intrapopulationnelle

L'un des intérêts majeurs de l'approche isotopique est de pouvoir détecter les éventuelles distinctions alimentaires au sein même de la population, entre les individus ou groupes d'individus, en relation aux paramètres biologiques (âge et sexe notamment), sociaux (identification de statuts particuliers) ou culturels [15,16,93,94]. La particularité de la nécropole de Gurgy « Les Noisats » réside dans la diversité de ses dispositifs sépulcraux et du mobilier, témoignant du mélange d'influences culturelles diverses et parfois lointaines, ainsi que dans sa durée d'occupation, de près d'un millénaire. Or, la gamme de variation des valeurs isotopiques des humains est exceptionnellement faible pour la période, et l'effectif considéré ($\Delta^{13}\text{C} = 0,7 \text{ ‰}$, $\Delta^{15}\text{N} = 1,9 \text{ ‰}$, $n = 40$; Matériel supplémentaire 8), et indique une très forte homogénéité de l'ensemble de la population. Une plus forte variabilité est toutefois enregistrée au début du Néolithique moyen, reflétant peut-être des pratiques alimentaires légèrement plus diversifiées en ces temps de mutations économiques et sociales, dont la multiplication des cultures illustre la complexité naissante. C'est à cette période que la différence en $\delta^{15}\text{N}$ entre les sexes est la plus marquée, ce qui pourrait témoigner d'une organisation sociale plus structurée, voire hiérarchisée. Néanmoins, l'homogénéité globale est surprenante. Un résultat comparable a été mis en évidence dans certains sites plus anciens, comme à Fontbrégoua, ou contemporains, comme à Mont d'Hubert, mais les individus sont toutefois moins nombreux qu'aux Noisats et/ou ont été retrouvés dans un contexte particulier [95,96]. À 70 km de Gurgy dans le Bassin parisien, le site Cerny de Balloy « Les Réaudins » propose un point de comparaison intéressant : la faible variation des valeurs isotopiques ($\Delta^{13}\text{C} = 1 \text{ ‰}$ et $\Delta^{15}\text{N} = 2,2 \text{ ‰}$, $n = 22$) contraste avec l'importante structuration et hiérarchisation des inhumés, dans et en dehors des structures monumentales [20]. Cette analogie pourrait témoigner d'un particularisme alimentaire régional et/ou culturel. Dans l'Eure, le site chasséen de Louviers « La Villette » propose une image différente, avec deux groupes humains distincts du point de vue alimentaire [19]. À titre de comparaison, des variations régionales ont été mises en évidence

dans le sud de la France, entre les aires de la Garonne et du Languedoc, où l'environnement doit influencer la mise en place de systèmes économiques différents [21,50].

Si des rapports isotopiques similaires peuvent être générés par des assemblages alimentaires différents, il est cependant plus probable qu'une population au signal isotopique homogène partage le même type de ressources plutôt que plusieurs combinaisons d'aliments différents qui se compenseraient pour aboutir in fine à un résultat isotopique uniforme. Ici, l'homogénéité est telle que tous les individus semblent avoir consommé des ressources issues des mêmes catégories alimentaires (e.g. viande de bœuf, porc, céréales) et du même environnement dans des proportions équivalentes.

Au sein de cette homogénéité globale, il existe toutefois des variations liées au sexe et à l'âge des sujets, ainsi que des similitudes entre plusieurs individus inhumés ensemble et reflétant sans doute des comportements alimentaires spécifiques. Le croisement des données isotopiques avec ces paramètres montre que les hommes présentent des valeurs ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) plus élevées et diversifiées que les femmes et les enfants. Des variations alimentaires entre les sexes ont déjà été constatées dans plusieurs sites européens [80,93,94], bien qu'elles soient généralement plus marquées. Ici, les critères âge et sexe sont les seuls à présenter des différences isotopiques statistiquement significatives : celles-ci ne peuvent être dues au hasard et reflètent clairement une discrimination — si ce n'est en fonction de l'âge à cause de l'effectif faible — au moins sexuelle. Des études expérimentales en nutrition contrôlée ont montré qu'il n'existe pas de différence isotopique entre les sujets masculins et féminins d'une même espèce ayant une alimentation équivalente [97]. Ces différences, circonscrites dans l'ensemble homogène d'un régime alimentaire apparemment commun à toute la population, peuvent donc refléter soit des distinctions alimentaires ne faisant varier que très légèrement les valeurs isotopiques (e.g. consommation de muscles vs abats d'un même animal, certaines préparations ou proportions), soit des phénomènes physiologiques agissant directement sur l'enregistrement du signal.

D'une part, en effet, des régimes alimentaires similaires (mêmes espèces consommées, proportion des parts végétales et carnées respectées) ne signifient pas nécessairement une alimentation identique ou des comportements alimentaires équivalents [98]. Des différences peuvent résider dans le choix des produits au sein d'un même type de ressource (e.g. différentes pièces de viande/laitage d'un même animal [39]), dans leurs préparations (bouillies, cuissons, fermentations — pouvant impliquer ou non des modifications du signal isotopique [86–88]), dans l'ordre de distribution des denrées ou dans les proportions partagées (toutes mesures gardées pour ne pas inverser les tendances), en fonction des préférences individuelles ou de l'accès différentiel à tel ou tel mets selon son statut social par exemple. La variabilité

isotopique plus importante chez les hommes pourrait par exemple signaler un accès plus large et diversifié aux différents produits. De plus, la dispersion des valeurs isotopiques en fonction du mobilier, par sexe, montre que les femmes possédant des objets de parure ont des valeurs particulièrement élevées, alors que les hommes inhumés avec du mobilier présentent des valeurs aussi bien hautes que basses. Cela pourrait caractériser — si la possession d'objet est liée à un quelconque statut social — l'accès privilégié des femmes d'un certain statut social à un type particulier d'alimentation, alors que tous les hommes, quel que soit leur statut, auraient accès à toutes les denrées. Cette théorie pourrait être testée sur un plus grand nombre d'individus. De la même manière, si la distinction isotopique entre les moins et les plus de 15 ans s'avère exacte sur un plus grand nombre de sujets, cela pourrait indiquer un changement de statut social autour de cet âge, éventuellement accompagné de la modification du régime alimentaire. Cette hypothèse est corroborée par des observations anthropologiques réalisées indépendamment sur la base du mobilier et des structures, considérant « les individus d'un âge supérieur à 13/14 ans comme appartenant à la sphère adulte » ([22], p. 211).

D'autre part, plusieurs paramètres liés aux modes de vie des sujets et/ou induisant des processus physiologiques différents pourraient également expliquer le contraste isotopique tenu observé ici entre hommes, femmes et enfants. Par exemple, l'activité physique modifie les taux de remodelage osseux et implique des processus physiologiques méconnus sur l'enregistrement isotopique [33,99]. La division sexuelle du travail, attestée au Néolithique dans plusieurs populations européennes, notamment par l'étude des marqueurs osseux d'activité [100] pourrait justifier de légères variations isotopiques. À Gurgy, la mauvaise conservation de l'os ne permet malheureusement pas d'observer ce type de marqueurs, ni d'étudier la géométrie de section. Les processus physiologiques reliant les valeurs isotopiques à l'âge sont mal connus, mais aucun lien n'a été démontré entre ces deux paramètres dans le collagène. Une modification du $\delta^{15}\text{N}$ en fonction de l'âge a été mise en évidence dans certains tissus chez les rats (augmentation chez les jeunes) [101]. Néanmoins, la relation complexe existant entre ces deux paramètres résulterait majoritairement de changements de comportements alimentaires liés à des facteurs socioculturels [102]. Par ailleurs, les taux de remodelage osseux étant plus rapides pendant la croissance, les enfants ont enregistré un signal de plus courte durée [33], pouvant peut-être justifier la faible distinction observée ici.

Des différences d'état sanitaire entre les sexes pourraient également être corrélées aux variations isotopiques [103]. D'un côté, certaines pathologies ou déséquilibres nutritionnels modifient l'enregistrement isotopique dans les tissus [103] ; inversement, certains types de diète entraînent des réactions, pathologiques ou non, qui peuvent

marquer le squelette (e.g. les céréales, riches en glucides, sont cariogènes). L'étude de l'état buccodentaire général, et des lésions carieuses notamment, qui semblent plus toucher les femmes [104], apporterait de nouvelles informations relatives aux modalités de subsistance, ces paramètres étant étroitement liés à l'alimentation. Par ailleurs, pendant les périodes de gestation et d'allaitement, les femmes subissent des changements physiologiques pouvant engendrer des modifications de l'enregistrement isotopique de l'azote dans leurs tissus [16,93,105]. Ces relations sont mal connues dans le collagène, mais dans les conditions de forte natalité supposées par certains auteurs au Néolithique [106], l'enchaînement de phases de grossesse/allaitement pourrait être reflété par de légères variations. Par ailleurs, le lien (intrapopulationnel) entre stature élevée et consommation de ressources carnées (donc $\delta^{15}\text{N}$) a plusieurs fois été souligné dans la littérature [104,107]. Si à Gurgy la stature moyenne des hommes est plus élevée que celle des femmes (estimation de la stature par sexe, sur la base de la longueur du fémur [108,109]), elle n'est pas, pour chaque sexe indépendamment ou pour l'ensemble des sujets, corrélée au $\delta^{15}\text{N}$ (coeff. de corrélation $< 0,5$).

Enfin, l'hypothèse d'une origine exogène des femmes a été proposée dans plusieurs études [18,50]. Le déplacement de femmes depuis un groupe voisin proposant des valeurs isotopiques légèrement différentes (de l'ordre de la différence enregistrée ici entre les sexes) pourrait expliquer cette légère variation. Toutefois, pour que celle-ci soit visible, il faudrait que les femmes n'aient pas eu le temps de renouveler leur collagène pour effacer le signal d'origine. Des analyses sont en cours sur la dentine ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) et sur l'émail dentaire ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) de ces individus, pour tenter de détecter d'éventuelles modifications du régime alimentaire ou de l'environnement entre l'enfance et l'âge adulte. En effet, les dents, une fois matures, ne sont plus remaniées et présentent la signature isotopique enregistrée pendant leur période de formation. Des exemples de mobilité ont ainsi été relevés, grâce à l'analyse isotopique du strontium, pour des sites du Néolithique ancien et moyen dans le sud de la France et en Allemagne [110,111]. Ici, la question des relations entre la nécropole et les sites voisins est soulevée, d'une part, par la grande diversité des dispositifs funéraires renvoyant à des horizons culturels différents, d'autre part, par le rapport entre le faible nombre d'inhumations relativement à la longue période d'occupation. En effet, ce dernier peut constituer soit le reflet d'un groupe réduit, soit celui d'une sélection des inhumés, le reste de la population pouvant être inhumé ailleurs ou avoir subi des traitements différents. Dans ce dernier cas, la population doit être comparée aux différents systèmes rencontrés dans les sites voisins : structures monumentales Cerny (et nécropoles « plates » attribuées à la même culture), nécropole voisine de Monéteau « Sur Macherin » attribuée au Chasséen [112], restes épars dans les enceintes voisines

de Beaumont « Le Crot aux Moines » et Gurgy « Le Nouzeau » notamment [23]. De nouvelles analyses sur les restes humains de ces gisements sont prévues. Par ailleurs, la circulation d'objets, parfois même sur de longues distances [113], et les données génétiques attestant d'origines rubanées et méditerranéennes dans la population de Gurgy [26] placent le site sur des axes d'échanges matériels et populationnels déjà en place. Aucune corrélation n'a cependant été mise en évidence entre les données génétiques et les résultats isotopiques. À noter toutefois que les premières ont une portée multigénérationnelle et les deuxièmes s'interprètent à l'échelle de la vie de l'individu.

La question de la structuration sociale du groupe inhumé à Gurgy est également soulevée par la position de certaines tombes dans la nécropole. Le regroupement de plusieurs individus dans des fosses proches, souligné par la proximité particulièrement marquée de leurs valeurs isotopiques, suggère un rassemblement en lien à des relations sociales ou familiales. Cet argument vient appuyer des observations analogues mises en évidence par l'étude de la morphologie dentaire [114] et de la génétique [26]. En outre, la place du sujet 221B (position centrale dans la nécropole, valeur la plus élevée de $\delta^{15}\text{N}$) pourrait traduire un statut particulier de cet individu en lien à une spécialisation sociale de la nécropole. Ce résultat invite de nouveau à la comparaison avec le site de Balloy, rattaché au Cerny et caractérisé par une organisation sociale structurée et hiérarchisée [20].

Conclusion

L'approche biochimique utilisée sur les ossements de 40 sujets de la nécropole de Gurgy « Les Noisats » a permis d'apporter de nouveaux éléments pour répondre à la double problématique soulevée dans cette étude. D'abord, la comparaison des valeurs isotopiques des humains avec la faune régionale et contemporaine du site a mis en évidence le niveau trophique particulièrement élevé de cette population par rapport à ce qui est connu dans les régions alentour à la même période. Différentes hypothèses de consommation ont été proposées, comme la consommation importante de protéines animales issues de l'élevage — notamment des jeunes et peut-être d'une part plus importante de suinés et caprinés que celle envisagée dans les régions voisines ; la consommation potentielle de poisson dulcicole ou anadrome ; ou encore, plus contestable, la consommation régulière de morceaux de boucherie à plus fortes teneurs en ^{15}N (e.g. abats), ou l'utilisation de « préparations » des cultures ou des aliments (fertilisation, cuisson). La part des ressources végétales est quant à elle masquée par le signal d'une alimentation riche en protéines, mais les céréales ont probablement été une source alimentaire non négligeable comme en témoignent les données régionales. L'apport d'autres méthodologies (ratios isotopiques du

soufre, du calcium, de l'azote sur les acides aminés ; dosage des éléments traces ; étude de la micro-usure dentaire ; analyse lipidique des résidus organiques des poteries ; [7,72,115–117]) et celui de l'analyse de restes animaux plus locaux permettront de préciser les hypothèses proposées. Une partie des analyses est en cours.

Ensuite, la comparaison des données isotopiques aux données biologiques et archéologiques a révélé des aspects nouveaux dans la structuration de la population. Au regard des paramètres funéraires, les inhumations à Gurgy semblent peu standardisées (diversité des dispositifs et des influences), mais la population est peu différenciée (pas de catégories clairement identifiées sur la base des dispositifs funéraires ou de la chronologie). Les résultats isotopiques montrent une grande homogénéité de l'ensemble des individus, résultat surprenant qui ne trouve de comparaison pertinente que dans le site voisin de Balloy [20]. Une plus large amplitude est toutefois enregistrée pour la période du début du Néolithique moyen, et de légères tendances sont décelables entre les sexes et entre les enfants de moins de 15 ans et les adultes. Ces différences peuvent être liées à la division des tâches, dont la pratique d'activités spécialisées engendrerait une modification de l'enregistrement du signal isotopique, et/ou simplement liées à des variations dans les modes de consommations (préparations culinaires, différenciation des portions alimentaires) relativement à la position sociale. Les différences entre les sexes sont d'ailleurs plus marquées au début du Néolithique moyen, période de mutations économiques et sociales à la complexité croissante. Par ailleurs, le regroupement spatial de certaines tombes dont les défunts partagent des caractéristiques biologiques et isotopiques évoque un rassemblement des individus selon des affinités sociales ou familiales. Le cas de la sépulture 221B suggère en outre que certains sujets aient bénéficié d'une position particulière dans la société. Ce dernier point est à considérer au regard de la longue période d'occupation de la nécropole et de l'apparente homogénéité populationnelle toutefois observée. L'apport de nouvelles analyses isotopiques (notamment C, N, S, Sr sur os et sur dents ; études en cours) sur un effectif plus grand, à Gurgy et dans les sites voisins, permettra de préciser ces questions. La comparaison avec les gisements contemporains environnants aidera ainsi à mieux comprendre la place de la nécropole dans le système régional et les éventuels liens que celle-ci entretenait avec les autres sites funéraires et les communautés qui s'y rapportaient, proches ou lointaines.

Remerciements Cette étude a été financée par le projet DHP (dir : S. Rottier ; Univ. Bordeaux, Lascarb ; 2012–2014) dans le cadre d'un mémoire de master 2 réalisé en 2013. Nous remercions toutes les personnes ayant permis la réalisation de ce travail, et notamment Jean-Pierre Bracco, Estelle Herrscher et Guy André au LAMPEA ; Dominique Castex, Marie-France Deguilloux et Frédéric Santos à PACEA.

Liens d'intérêts : les auteurs déclarent ne pas avoir de lien d'intérêt.

Références

- Hachem L (2011) Le site néolithique de Cuiry-lès-Chaudardes-I. De l'analyse de la faune à la structuration sociale, *Internationale Archéologie*, 549 p
- Renault-Miskovsky J (2002) Apport de la carpologie et de la palynologie à la connaissance de l'environnement végétal, du régime alimentaire, des maladies et de la pharmacopée des hommes préhistoriques. In: Fleurentin J, Pelt JM, Mazars G (eds) Des sources du savoir aux médicaments du futur : actes du IV^e Congrès européen d'ethnopharmacologie. IRD Éditions, Montpellier, pp 67–72
- Bouby L (2000) Restituer les pratiques agraires par la carpologie archéologique. *Études rurales* 153–154:177–94
- Hamon C (2003) De l'utilisation des outils de mouture, broyage et polissage au néolithique en Bassin parisien : apports de la tracéologie. *BSPF* 100:101–16
- Gibaja JF, Mazzucco N (2015) Conociendo la función del utillaje lítico tallado: Veinticinco años de análisis traceológicos aplicados a contextos neolíticos del noreste de la Península Ibérica [Getting to know the function of the flaked stone tools: Twenty-five years of use-wear...]. *J Lithic Studies* 2:67–93
- Vieugé J (2014) Use-wear analysis of prehistoric pottery: methodological contributions from the study of the earliest ceramic vessels in Bulgaria (6100–5500 BC). *J Archaeol Sci* 41:622–30
- Regert M (2011) Analytical strategies for discriminating archaeological fatty substances from animal origin. *Mass Spectrom Rev* 30:177–220
- Polet C (2013) L'apport de l'anthropologie biologique à la connaissance des régimes alimentaires des populations du passé. *Bulletin de la fédération des archéologues de Wallonie et de Bruxelles* 72:67–76
- Larsen CS, Shavit R, Griffin MC (1991) Dental caries evidence for dietary change: an archaeological context. In: Kelley MA, Larsen CS (eds) *Advances in dental anthropology*. Wiley-Liss, Inc., pp 179–202
- Power RC, Salazar-García DC, Straus LG, et al (2015) Microremains from El Mirón cave human dental calculus suggest a mixed plant–animal subsistence economy during the Magdalenian in Northern Iberia. *J Archaeol Sci* 60:39–46
- Warinner C, Hendy J, Speller C, et al (2014) Direct evidence of milk consumption from ancient human dental calculus. *Sci Rep* 4:7104
- Scott RS, Ungar PS, Bergstrom TS, et al (2005) Dental micro-wear texture analysis shows within species diet variability in fossil hominins. *Nature* 436:693–5
- Bocherens H, Mariotti A (2002) Paléoenvironnements et paléoenvironnement : biogéochimie isotopique des vertébrés. In: Miskovsky JL (ed) *Géologie de la préhistoire, méthodes, techniques, applications*. Géopré — Presses universitaires de Perpignan, Paris, pp 1323–44
- Twiss K (2012) The archaeology of food and social diversity. *J Archaeol Res* 20:357–95
- Le Bras-Goude G, Herrscher E, Vaquer J (2012) Funeral practices and foodstuff behaviour: what does eat meat mean? Stable isotope analysis of Middle Neolithic populations in the Languedoc region (France). *J Anthropol Archaeol* 32:280–7
- Oelze VM, Siebert A, Nicklisch N, et al (2011) Early neolithic diet and animal husbandry: stable isotope evidence from three Linearbandkeramik (LBK) sites in Central Germany. *J Archaeol Sci* 38:270–9

17. Goude G (2007) Étude des modes de subsistance de populations néolithiques (VI–IV^e millénaires av. J.-C.) dans le nord-ouest de la Méditerranée. Approche par l'utilisation des isotopes stables ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) du collagène. Thèse de doctorat, université de Bordeaux-I
18. Goude G, Schmitt A, Herrscher E, et al (2013) Pratiques alimentaires au Néolithique moyen : nouvelles données sur le site de Pontcharaud 2 (Puy-de-Dôme, Auvergne, France). *BSPF* 110:299–317
19. Bocherens H, Billiou D, Tresset A (2005) Approche biogéochimique (^{13}C , ^{15}N) de l'exploitation de l'environnement par les humains. In: Giligny F (ed) Louviers « La Villette » (Eure) : un site néolithique moyen en zone humide. Presses universitaires de Rennes, Rennes, pp 265–9
20. Herrscher E, Thomas A, Chambon P, et al (2012) Pratiques alimentaires et nécropoles monumentales au Néolithique : le cas des sujets du site de Balloy-les Reaudins (culture de Cerny, V^e millénaire, Bassin parisien). 1 837^e Journées de la Société d'anthropologie de Paris, Bordeaux (25–27 janvier 2012). *BMSAP* 24:S21
21. Goude G, Fontugne M (2016) Carbon and nitrogen isotopic variability in bone collagen during the Neolithic period: influence of environmental factors and diet. *J Archaeol Sci* 70:117–31
22. Le Roy M (2015) Les enfants au Néolithique : du contexte funéraire à l'interprétation socioculturelle en France de 5700 à 2100 ans av. J.-C. Thèse de doctorat, université de Bordeaux
23. Chambon P, Rottier S, Augereau A, et al (2013) Évolution, coexistence et confrontation de pratiques funéraires entre 4700 et 4000 av. J.-C. sur un microterritoire dans la vallée de l'Yonne. In: Jaubert J, Fourment N, Depaape P (eds) Transitions, ruptures et continuité en préhistoire, XXVII^e Congrès préhistorique de France, Bordeaux — Les Eyzies 2010. Société préhistorique française, Paris, pp 213–28
24. Rottier S, Mordant C, Chambon P, et al (2005) Découverte de plus d'une centaine de sépultures du Néolithique moyen à Gurgy, les Noisats (Yonne). *BSPF* 102:641–5
25. Rottier S (2006) Observations préliminaires à l'étude des remplissages des tombes du Néolithique moyen I de Gurgy « Les Noisats » (Yonne). *RAE* 55:279–85
26. Rivollat M, Mendisco F, Pemonge MH, et al (2015) When the waves of European neolithization met: first paleogenetic evidence from early farmers in the Southern Paris Basin. *PLoS One* 10: e0125521
27. Rottier S (2007) L'architecture funéraire des sépultures du Néolithique moyen des Noisats à Gurgy (Yonne, France). In: Moinat P, Chambon P (eds) Les cistes de Chamblandes et la place des coffres dans les pratiques funéraires du Néolithique moyen occidental. Société préhistorique française, Paris, pp 99–107
28. Bonnardin S (inédit) La parure de Gurgy « Les Noisats » (Yonne). Approche technologique, typologique et fonctionnelle (campagnes 2006 et 2007). In: Rottier S (ed) Rapport d'opération archéologique programmée (2007). SRA Bourgogne, Dijon
29. Augereau A (inédit) L'industrie lithique de Gurgy « Les Noisats » (Yonne). Campagnes 2004–2006. In: Rottier S (ed) Rapport d'opération archéologique programmée (2007). SRA Bourgogne, Dijon
30. DeNiro MJ (1987) Stable isotopy and archaeology. *Am Sci* 75:182–91
31. Ambrose SH (1993) Isotopic analysis of paleodiets: methodological and interpretive considerations. In: Standford M (ed) Investigations of ancient human tissue. Gordon and Breach Science Publishers, Langhorne, pp 59–130
32. Bocherens H (1999) Isotopes stables et reconstitution du régime alimentaire des hominidés fossiles : une revue. *BMSAP* 11:261–87
33. Valentin J (2002) Bone remodelling. In: Valentin J (ed) Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: reference values. *Ann ICRP* 32, Publication 89, Pergamon, pp 185–8
34. Tieszen LL, Boutton TW, Tesdahl KG, et al (1983) Fractionation and turnover of stable carbon isotopes in animal tissues: implications for $\delta^{13}\text{C}$ analysis of diet. *Oecologia* 57:32–7
35. Ambrose SH, Norr L (1993) Experimental evidence for the relationship of the carbon isotope ratios of whole diet and dietary protein to those of bone collagen and carbonate. In: Lambert JB, Grupe G (eds) Prehistoric human bone. Archaeology at the molecular level. Springer-Verlag, Berlin, pp 1–37
36. O'Leary MH (1988) Carbon isotopes in photosynthesis. *BioScience* 38:328–36
37. Smith BN, Epstein S (1971) Two categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios for higher plants. *Plant Physiol* 47:380–4
38. Farquhar GD, Ehleringer JR, Hubick KT (1989) Carbon isotope discrimination and photosynthesis. *Annu Rev Plant Phys* 40:503–37
39. DeNiro MJ, Epstein S (1981) Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochim Cosmochim Acta* 45:341–51
40. Virginia R, Delwiche CC (1982) Natural ^{15}N abundance of presumed N_2 -fixing and non- N_2 -fixing plants from selected ecosystems. *Oecologia* 54:317–25
41. Ambrose SH (1991) Effects of diet, climate and physiology on nitrogen isotope abundances in terrestrial foodwebs. *J Archaeol Sci* 18:293–317
42. Van Klinken GJ, Richards MP, Hedges REM (2000) An overview of causes for stable isotopic variations in past European human populations: environmental, ecophysiological, and cultural effects. In: Ambrose SH, Katzenberg MA (eds) Biogeochemical approaches to paleodietary analysis. Springer US, pp 39–63
43. Hedges REM, Stevens RE, Richards MP (2004) Bone as a stable isotope archive for local climatic information. *Quaternary Sci Rev* 23:959–65
44. Schoeninger MJ, DeNiro MJ (1984) Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals. *Geochim Cosmochim Acta* 48:625–39
45. Bocherens H, Drucker D (2003) Trophic level isotopic enrichment of carbon and nitrogen in bone collagen: case studies from recent and ancient terrestrial ecosystems. *Int J Osteoarchaeol* 13:46–53
46. DeNiro MJ, Epstein S (1978) Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim Cosmochim Acta* 42:495–506
47. Minagawa M, Wada E (1984) Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochim Cosmochim Acta* 48:1135–40
48. Heaton THE (1999) Spatial, species, and temporal variations in the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios of C_3 plants: implications for palaeodiet studies. *J Archaeol Sci* 26:637–49
49. Heaton THE, Vogel JC, Von la Chevallerie G, et al (1986) Climatic influence on the isotopic composition of bone nitrogen. *Nature* 322:822–3
50. Herrscher E, Le Bras-Goude G (2010) Southern French neolithic populations: isotopic evidence for regional specificities in environment and diet. *Am J Phys Anthropol* 141:259–72
51. Balasse M (1999) De l'exploitation du lait au Néolithique moyen en Europe tempérée : examen des modalités de sevrage des bovins, par l'analyse isotopique des ossements archéologiques. Thèse de doctorat, université Paris-VI
52. Longin R (1971) New method of collagen extraction for radio-carbon dating. *Nature* 230:241–2
53. Bocherens H, Billiou D, Patou-Mathis P, et al (1997) Paleobiological implications of the isotopic signature (^{13}C , ^{15}N) of fossil mammal collagen in Scladina cave (Sclayn, Belgium). *Quat Res* 48:370–80
54. DeNiro MJ (1985) Postmortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction. *Nature* 317:806–9

55. Ambrose SH (1990) Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis. *J Archaeol Sci* 17:431–51
56. Leroyer C, Duhamel P (2006) L'impact des groupes néolithiques du Bassin parisien sur le milieu végétal : évolution et approche territoriale d'après les données polliniques. In: Duhamel P (ed) Impacts interculturels au Néolithique moyen. Du terroir au territoire : sociétés et espace. *Revue archéologique de l'Est*, 25^e supplément, actes du XXV^e Colloque interrégional sur le Néolithique, Dijon (20–21 octobre 2001), pp 131–49
57. Perriere J, Leroyer C, Duhamel P (2006) Impact sur le milieu végétal et activités agropastorales des groupes néolithiques d'après la séquence pollinique d'Armancourt (Oise). In: Duhamel P (ed) Impacts interculturels au Néolithique moyen. Du terroir au territoire : sociétés et espace. *Revue archéologique de l'Est*, 25^e supplément, actes du XXV^e Colloque interrégional sur le Néolithique, Dijon (20–21 octobre 2001), pp 151–60
58. Ilett M, Constantin C, Farruggia JP, et al (1995) Bâtiments voisins du Rubané et du groupe de Villeneuve-Saint-Germain sur le site de Bucy-le-Long « La Fosse Tounise » (Aisne). *Revue archéologique de Picardie* 9:17–39
59. Bakels C (1997) Le blé dans la culture de Cerny. In: Constantin C, Mordant D, Simonin D (eds) La culture de Cerny. Nouvelle économie, nouvelle société au Néolithique. Actes du Colloque international de Nemours, 1994. Mémoires du Musée de préhistoire d'Île-de-France, pp 315–7
60. Martin L, Bouby L, Marinval P, et al (2014) Exploitation des ressources végétales au Chasséen : un bilan des données carpologiques. Le Chasséen, des Chasséens : retour sur une culture nationale et ses parallèles, Sepulcres de fossa, Cortaillod, Lagozza. 18–20 novembre 2014, Paris
61. Meunier K, Augereau A, Hamon C, et al (2006) Le site Villeneuve-Saint-Germain de Gurgy « Les Grands Champs » (Yonne). In: Duhamel P (ed) Impacts interculturels au Néolithique moyen. Du terroir au territoire : sociétés et espace. Actes du XXV^e Colloque interrégional sur le Néolithique, Dijon (20–21 octobre 2001). *Revue archéologique de l'Est*, 25^e supplément, pp 287–301
62. Bedault L (2009) First reflections on the exploitation of animals in Villeneuve-Saint-Germain society at the end of the early Neolithic in the Paris Basin (France). In: Hofmann D, Bickle P (eds) Creating communities: new advances in central European Neolithic research. Oxbow Books, Oxford, pp 111–31
63. Hachem L, Bedault L, Leduc C (2014) L'élevage et la chasse au Chasséen septentrional : renouvellement des connaissances d'après l'étude des enceintes de Villers-Carbonnel (Somme) et de Passel (Oise). Le Chasséen, des Chasséens : retour sur une culture nationale et ses parallèles, Sepulcres de fossa, Cortaillod, Lagozza. 18–20 novembre 2014, Paris
64. Sidéra I (2003) De l'usage des produits de la chasse pour différencier des hommes. Fonctions votive et sociale de la chasse au Néolithique ancien et moyen du Bassin parisien. In: Chambon P, Leclerc J (eds) Les pratiques funéraires néolithiques avant 3500 av. J.-C. en France et dans les régions limitrophes. Société préhistorique française (mémoire 33), Table ronde de Saint-Germain-en-Laye (15–17 juin 2001), pp 91–98
65. Tresset A (1997) L'approvisionnement carné Cerny dans le contexte néolithique du Bassin parisien. In: Constantin C, Mordant D, Simonin D (eds) La culture de Cerny. Nouvelle économie, nouvelle société au Néolithique. Actes du Colloque international de Nemours, 1994. Mémoires du Musée de préhistoire d'Île-de-France, pp 299–314
66. Tresset A (1989) La Faune de l'enceinte néolithique de Barbuise Courtavant (Aube). In: Pré- et protohistoire de l'Aube, livret de l'exposition. Association régionale pour la protection et l'étude du patrimoine préhistorique (ARPEPP). Vertus, pp 135–8
67. Balasse M, Bocherens H, Tresset A, et al (1997) Émergence de la production laitière au Néolithique ? Contribution de l'analyse isotopique d'ossements de bovins archéologiques. *Cr Acad Sci II A* 325:1005–10
68. Balasse M, Tresset A (2002) Early weaning of neolithic domestic cattle (Bercy, France) revealed by intra-tooth variation in nitrogen isotope ratios. *J Archaeol Sci* 29:853–9
69. Balasse M, Boury L, Ughetto-Monfrin J, et al (2012) Stable isotope insights ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$) into cattle and sheep husbandry at Bercy (Paris, France, 4th millennium BC): birth seasonality and winter leaf foddering. *Environmental Archaeology* 17:29–44
70. Balasse M, Tresset A, Bocherens H, et al (2000) Un abattage « post-lactation » sur des bovins domestiques néolithiques. Étude isotopique des restes osseux du site de Bercy (Paris, France). *Anthropozoologica* 31:39–48
71. Vigne JD, Vilette P, Rodriguez P, et al (1989) Noyens-sur-Seine, site stratifié en milieu fluvial : une étude multidisciplinaire intégrée. *BSPF* 86:370–9
72. Naito YI, Chikaraishi Y, Ohkouchi N, et al (2013) Nitrogen isotopic composition of collagen amino acids as an indicator of aquatic resource consumption: insights from Mesolithic and Epipalaeolithic archaeological sites in France. *World Archaeol* 45:338–59
73. Richards MP, Schulting RJ, Hedges REM (2003) Sharp shift in diet at onset of Neolithic. *Nature* 425:366
74. Clavel B, Arbogast RM (2007) Fish exploitation from early neolithic sites in northern France: the first data. In: Dobiat C, Leidorf K (eds) The role of fish in ancient time. 13th Meeting of the International Council of the ICAZ Fish Remains Working Group. *Internationale Archäologie*, pp 85–91
75. Clavel B (2009) Site de pêche néolithique au bord de l'Aisne. *Archéopages* 26:22–3
76. Dufour E, Bocherens H, Mariotti A (1999) Palaeodietary implications of isotopic variability in eurasian lacustrine fish. *J Archaeol Sci* 26:617–27
77. Finlay JC, Kendall C (2007) Stable isotope tracing of temporal and spatial variability in organic matter sources to freshwater ecosystems. In: Michener R, Lajth K (eds) Stable isotopes in ecology and environmental science. Blackwell Publishing Ltd., pp 283–333
78. van der Merwe NJ, Williamson RF, Pfeiffer S, et al (2003) The Moatfield ossuary: isotopic dietary analysis of an Iroquoian community, using dental tissue. *J Anthropol Archaeol* 22:245–61
79. Bösl C, Grupe G, Peters J (2006) A Late Neolithic vertebrate food web based on stable isotope analyses. *Int J Osteoarchaeol* 16:296–315
80. Dürrwächter C, Craig OE, Collins MJ, et al (2006) Beyond the grave: variability in Neolithic diets in Southern Germany? *J Archaeol Sci* 33:39–48
81. Vika E, Theodoropoulou T (2012) Re-investigating fish consumption in Greek antiquity: results from $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysis from fish bone collagen. *J Archaeol Sci* 39:1618–27
82. Drucker D, Bocherens H (2004) Carbon and nitrogen stable isotopes as tracers of change in diet breadth during middle and upper Palaeolithic in Europe. *Int J Osteoarchaeol* 14:162–77
83. Fuller BT, Müldner G, Van Neer W, et al (2012) Carbon and nitrogen stable isotope ratio analysis of freshwater, brackish and marine fish from Belgian archaeological sites (1st and 2nd millennium AD). *J Anal At Spectrom* 27:807–20
84. Hedges REM, Reynard LM (2007) Nitrogen isotopes and the trophic level of humans in archaeology. *J Archaeol Sci* 34:1240–51
85. Ambrose SH, Buikstra J, Krueger HW (2003) Status and gender differences in diet at Mound 72, Cahokia, revealed by isotopic analysis of bone. *J Anthropol Archaeol* 22:217–26
86. Bocherens H (2009) Neanderthal dietary habits: review of the isotopic evidence. In: Hublin JJ, Richards MP (eds) The Evolution of

- hominin diets: integrating approaches to the study of palaeolithic subsistence. *Vertebrate paleobiology and paleanthropology series*, pp 241–50
87. Ambrose SH, Butler BM, Hanson DB, et al (1997) Stable isotopic analysis of human diet in the Marianas Archipelago, Western Pacific. *Am J Phys Anthropol* 104:343–61
 88. Katzenberg MA, Saunders S, Abonyi S (2002) Bone chemistry, food and history: a case study from 19th century upper Canada. In: Ambrose S, Katzenberg MA (eds) *Biogeochemical approaches to paleodietary analysis*. Springer US, pp 1–22
 89. Drucker D (2001) Validation méthodologique de l'analyse isotopique d'ossements fossiles et apports aux reconstitutions paléocologiques du paléolithique supérieur du sud-ouest de la France. Thèse de doctorat, université Pierre-et-Marie Curie, Paris
 90. Kanstrup M, Thomsen IK, Mikkelsen PH, et al (2012) Impact of charring on cereal grain characteristics: linking prehistoric manuring practice to $\delta^{15}\text{N}$ signatures in archaeobotanical material. *J Archaeol Sci* 39:2533–40
 91. Bogaard A, Heaton THE, Poulton P, et al (2007) The impact of manuring on nitrogen isotope ratios in cereals: archaeological implications for reconstruction of diet and crop management practices. *J Archaeol Sci* 34:335–43
 92. Aguilera M, Balasse M, Lepetz S, et al (2015) Fertilisation des sols de culture par les fumiers et rôle potentiel des céréales dans l'affouragement du bétail : l'éclairage des analyses isotopiques sur restes carpologiques et archéozoologiques. In: Reddé M (ed) *Méthodes d'analyse des différents paysages ruraux dans le Nord-Est de la Gaule romaine : études comparées (hiérarchisation des exploitations ; potentialités agronomiques des sols ; systèmes de production ; systèmes sociaux)*. Michel Reddé Eds pp 41–7
 93. Ogrinc N, Budja M (2005) Paleodietary reconstruction of a Neolithic population in Slovenia: a stable isotope approach. *Chem Geol* 218:103–16
 94. Le Bras-Goude G, Billy I, Charlier K, et al (2006) Contribution des méthodes isotopiques pour l'étude de l'alimentation humaine au Néolithique moyen méridional: le cas du site Chasséen ancien du Crès (Béziers, Hérault, France). *Antropo* 11:167–75
 95. Le Bras-Goude G, Binder D, Zémour A, et al (2010) New radiocarbon dates and isotope analysis of Neolithic human and animal bone from the Fontbrégoua cave. *J Anthropol Sci* 88:167–78
 96. Goude G (2014) Étude isotopique des restes humains du site de Mont d'Hubert (Escalles) : ressources alimentaires et exploitation de l'environnement. In: Praud I, Panloup E (eds) *Rapport de fouille préventive. Escalles, Mont d'Hubert : une enceinte du Néolithique moyen II, des fosses du Néolithique moyen I et du Bronze final sur le littoral de la mer du Nord*. INRAP, pp 332–6
 97. DeNiro MJ, Schoeninger MJ (1983) Stable carbon and nitrogen isotope ratios of bone collagen: variations within individuals, between sexes, and within populations raised on monotonous diets. *J Archaeol Sci* 10:199–203
 98. Pearson J (2007) Hunters, fishers and scavengers: a review of the isotope evidence for Neanderthal diet. *Before Farming* 2:1–16
 99. Hedges RE, Clement JG, Thomas CD, et al (2007) Collagen turnover in the adult femoral mid-shaft: modeled from anthropogenic radiocarbon tracer measurements. *Am J Phys Anthropol* 133:808–16
 100. Villotte S, Knüsel CJ (2014) I sing of arms and of a man...: medial epicondylitis and the sexual division of labour in prehistoric Europe. *J Archaeol Sci* 43:168–74
 101. Ambrose SH (2002) Controlled diet and climate experiments on nitrogen isotope ratios of rats. In: Ambrose SH, Katzenberg MA (eds) *Biogeochemical approaches to paleodietary analysis*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, pp 243–59
 102. Prowse TL, Schwarcz HP, Saunders SR, et al (2005) Isotopic evidence for age-related variation in diet from Isola Sacra, Italy. *Am J Phys Anthropol* 128:2–13
 103. Katzenberg MA, Lovell NC (1999) Stable isotope variation in pathological bone. *Int J Osteoarchaeol* 9:316–24
 104. Le Bras-Goude G, Schmitt A, Loison G (2009) Comportements alimentaires, aspects biologiques et sociaux au Néolithique : le cas du Crès (Hérault, France). *C R Palevol* 8:79–91
 105. Fuller BT, Fuller JL, Sage NE, et al (2004) Nitrogen balance and $\delta^{15}\text{N}$: why you're not what you eat during pregnancy? *Rapid Commun Mass Sp* 18:2889–96
 106. Bocquet-Appel JP (2006) La transition démographique néolithique. In: Guilaine J (ed) *Populations néolithiques et environnement. Séminaire du Collège de France*. Errance, Paris, pp 11–20
 107. Herrscher E (2003) Alimentation d'une population historique : analyse des données isotopiques de la nécropole Saint-Laurent de Grenoble (XIII–XV^e siècle, France). *BMSAP* 15:145–320
 108. Cleuvenot E, Houët F (1993) Proposition de nouvelles équations d'estimation de stature applicables pour un sexe indéterminé et fondées sur les échantillons de Trotter et Gleser. *BMSAP* 5:245–55
 109. Trotter M, Gleser GC (1958) A re-evaluation of estimation of stature based on measurements of stature taken during life and of long bones after death. *Am J Phys Anthropol* 16:79–123
 110. Nehlich O, Montgomery J, Evans J, et al (2009) Mobility or migration: a case study from the Neolithic settlement of Nieder-Mörlen (Hessen, Germany). *J Archaeol Sci* 36:1791–9
 111. Goude G, Castorina F, Herrscher E, et al (2012) First strontium isotope evidence of mobility in the Neolithic of Southern France. *Eur J Archaeol* 15:421–39
 112. Augereau A, Chambon P (2011) Les occupations néolithiques de Macherin à Monéteau (Yonne). *Société préhistorique française*, Paris, 422 p
 113. Petrequin P, Cassen S, Croutsch C, et al (1997) Haches alpines et baches carnacéennes dans l'Europe du V^e millénaire. *Notae Praehistoricae* 17:135–50
 114. Le Luyer M, Rottier S, Bayle P (2015) Structure interne des dents et organisation des ensembles sépulcraux : exemple de la nécropole néolithique de Gurgy (Yonne). MDCCCXL^{es} Journées de la Société d'anthropologie de Paris, 28–30 janvier 2015, Paris
 115. Nehlich O (2015) The application of sulphur isotope analyses in archaeological research: a review. *Earth Sci Rev* 142:1–17
 116. Privat KL, O'Connell TC, Hedges REM (2007) The distinction between freshwater- and terrestrial-based diets: methodological concerns and archaeological applications of sulphur stable isotope analysis. *J Archaeol Sci* 34:1197–204
 117. Chu NC, Henderson GM, Belshaw NS, et al (2006) Establishing the potential of Ca isotopes as proxy for consumption of dairy products. *Appl Geochem* 21:1656–67