

Drucker D.G., Bridault A., Ducrocq T., Valentin F. (2026) – Stratégies de subsistance au Mésolithique dans le Bassin parisien à la fin du Préboréal et au Boréal (10,3-9,0 ka) : apport des analyses isotopiques sur les restes humains et fauniques en Île-de-France [Mesolithic subsistence strategies in the Paris Basin during the late Preboreal and Boreal chronozones (10.3-9.0 ka): isotopic insights from human and faunal remains in the Île-de-France region], *Bulletin de la Société préhistorique française*, 123, 2, p. 203-231.

Stratégies de subsistance au Mésolithique dans le Bassin parisien à la fin du Préboréal et au Boréal (10,3-9,0 ka)

Apport des analyses isotopiques sur les restes humains et fauniques en Île-de-France

Mesolithic subsistence strategies in the Paris Basin during the late Preboreal and Boreal chronozones (10.3-9.0 ka)

Isotopic insights from human and faunal remains in the Île-de-France region

Dorothée G. DRUCKER, Anne BRIDAULT, Thierry DUCROCQ, Frédérique VALENTIN

Résumé : La fin du Préboréal et le Boréal (environ 10,3 à 9,0 ka) dans le nord de la France ont été marqués par des changements environnementaux profonds, induits par un réchauffement global et une humidification croissante des conditions climatiques. Ces transformations se sont traduites par une évolution de la végétation, passant de boisements ouverts dominés par le pin, associé au bouleau et au saule, à des forêts plus denses composées de noisetier et d'autres essences feuillues. Dans ce contexte, le spectre des ressources alimentaires disponibles a pu s'élargir pour inclure des ressources dulçaquicoles en complément des ressources terrestres. Quatre individus humains datés de cette période, découverts dans le Bassin parisien (Mareuil-lès-Meaux, Étiolles, Les Closeaux, Verberie), ont fait l'objet d'analyses isotopiques (^{13}C , ^{15}N , ^{34}S) sur le collagène osseux. Des restes fauniques contemporains, en partie issus des mêmes sites, ont également été étudiés. Les résultats indiquent que la fraction protéique du régime alimentaire humain pourrait provenir exclusivement de ressources terrestres, les ongulés forestiers (cerf élaphe, chevreuil, aurochs) contribuant autant, voire davantage, que le sanglier à l'apport en protéines carnées. Cette observation corrobore les données archéologiques et isotopiques attestant d'une consommation halieutique restreinte durant le Boréal en France septentrionale, mais contraste avec les preuves archéologiques et isotopiques d'une consommation piscicole durant l'Atlantique ancien dans la même région. Globalement, les écosystèmes forestiers ont constitué une base durable pour la subsistance humaine dans le Bassin parisien entre ~10,3 et 9,0 ka.

Mots-clés : isotopes stables, collagène, archéozoologie, régime alimentaire, environnement, forêt.

Abstract: The end of the Preboreal and Boreal chronozones (ca. 10.3 to 9.0 ka) in northern France was marked by profound environmental changes triggered by warmer and more humid global conditions. These changes were reflected by a vegetation shift from open woodland of pine associated with birch and willow to denser forests composed of hazel and other deciduous trees. In this context, the range of available food resources may have expanded to include freshwater resources in addition to terrestrial ones. Four human individuals from this period, discovered in the Paris Basin (Mareuil-lès-Meaux, Étiolles, Les Closeaux, Verberie), have been the subject of isotopic analyses (^{13}C , ^{15}N , ^{34}S) on bone collagen. Contemporary faunal remains, partly from the same sites, have also been studied. The results indicate that the protein fraction of the human diet could have come exclusively from terrestrial resources, forest ungulates (red deer, roe deer, aurochs) contributing as much, or even more, than wild boar to the provision of meat proteins. This observation corroborates archaeological and isotopic data attesting to a restricted marine consumption during the Boreal in northern France, but contrasts with the archaeological and isotopic evidence of piscivorous consumption during the Atlantic in the same region. Overall, forest ecosystems have constituted a durable base for human subsistence in the Paris Basin between ~10.3 and 9.0 ka.

Article reçu le 15 mars 2025, accepté le 5 mai 2026, publié le 30 juin 2026.

(Mareuil-lès-Meaux, Etiolles, Les Closeaux, Verberie), were analyzed for stable isotope analysis (^{13}C , ^{15}N , ^{34}S) in bone collagen. Faunal remains from the same period and, partly from the same sites, were also examined. The results indicate that the protein part of the human diet could be derived exclusively from terrestrial sources, with forest-dwelling ungulates contributing as much as, or even more than, wild boar to the consumed meat protein. This finding aligns with the limited evidence for fishing during the Boreal period in northern France but contrasts with the archaeological and isotopic evidence of fish consumption during the early Atlantic period in the same region. Overall, forest ecosystems provided a sustainable basis for human subsistence in the Paris Basin from ca. 10.3 to 9.0 ka.

Keywords: stable isotopes, collagen, zooarchaeology, diet, environment, forest.

À la suite du dernier épisode froid du Tardiglaciaire, le Préboréal a marqué le début d'un réchauffement climatique global (Davis *et al.*, 2003), accompagné d'une augmentation de l'humidité favorisant l'expansion des forêts tempérées en Europe par la densification du couvert boisé (Zanon *et al.*, 2018). Cette évolution paysagère s'est accompagnée de la disparition de la mégafaune (mammouth laineux *Mammuthus primigenius*, rhinocéros laineux *Coelodonta antiquitatis*, mégacéros *Megaloceros giganteus*; synthèse dans Stuart, 2015), ainsi que des espèces adaptées aux milieux froids (bœuf musqué *Ovibos moschatus*). Le cortège des grands herbivores terrestres s'est alors recentré sur des espèces adaptées aux climats tempérés (bison d'Europe *Bison bonasus*, cerf élaphe *Cervus elaphus*, chevreuil *Capreolus capreolus*, sanglier *Sus scrofa*), majoritairement associées aujourd'hui aux écosystèmes forestiers boréaux ou tempérés (Jochim, 2011). Ces bouleversements environnementaux ont entraîné une transition des stratégies de subsistance humaines, passant de l'interception de grands troupeaux migrants, via des stratégies collectives organisées, à une chasse opportuniste et une organisation en petits groupes (Crombé et Robinson, 2014).

Dans le Bassin parisien, la fin du Préboréal, vers 10,2 ka, est caractérisée par le développement du noisetier (*Corylus*) et des premiers chênes caducifoliés (*Quercus*), au détriment des pinèdes (*Pinus*) précédemment dominantes (Coutard *et al.*, 2010). Durant le Boréal, les forêts tempérées caducifoliées, principalement composées de noisetier, se sont considérablement étendues, remplaçant les formations résineuses antérieures (Leroyet *et al.*, 2011). Ces écosystèmes forestiers offraient aux groupes humains une diversité de ressources végétales (fruits, noix, tubercules) ainsi que des proies herbivores relativement sédentaires et organisées en petits groupes. Par ailleurs, les milieux aquatiques continentaux fournissaient également des ressources, comme en attestent d'autres régions d'Europe continentale pour la même période (Jochim, 2011).

Cette étude se concentre sur des individus humains de la région Île-de-France, dans le Bassin parisien, datés de la fin du Préboréal et du Boréal, dont le régime alimentaire est analysé par le biais des isotopes stables du collagène osseux, en comparaison avec les grands ongulés associés. Notre objectif est de reconstituer les principales sources de protéines animales consommées par ces individus et de déterminer les habitats des proies les plus couramment chassées, tels qu'informés par

After the last cold spell of the Lateglacial, the Preboreal chronozone marked the start of a global warming (e.g. Davis *et al.*, 2003) and increasing moisture availability allowing the raise and expansion of temperate forest in Europe through the densification of woodland (e.g. Zanon *et al.*, 2018). In association with this land cover evolution, the landscape was depopulated from most of the terrestrial megafauna in Europe (e.g. woolly mammoth *Mammuthus primigenius*, woolly rhinoceros *Coelodonta antiquitatis*, giant deer *Megaloceros giganteus*; review in Stuart, 2015) and cold-adapted species herds (e.g. muskox *Ovibos moschatus*). The spectrum of terrestrial large herbivores shifted to a corpus of temperate-adapted species (e.g. European bison *Bison bonasus*, red deer *Cervus elaphus*, roe deer *Capreolus capreolus*, wild boar *Sus scrofa*), most of them associated nowadays to boreal or temperate forest ecosystems (e.g. Jochim, 2011). The dramatic environmental changes led to a shift in human subsistence patterns, from intercepting large migrating herds using organized group strategies to encounter-based hunting and smaller group organization (e.g. Crombé and Robinson, 2014).

In the Paris Basin, the end of the Preboreal, around 10.2 ka, is marked by an increase in hazel (*Corylus*) woodlands and pioneer species of deciduous oak (*Quercus*) forests, within a landscape previously dominated by pine (*Pinus*) forests (Coutard *et al.*, 2010). During the Boreal period, temperate deciduous forests, mainly composed of hazel, expanded significantly, replacing earlier coniferous formations (Leroyet *et al.*, 2011). These forest ecosystems provided human groups with a wide variety of plants resources, such as fruits, nuts and tubers, along with small groups of relatively sedentary herbivore prey. In addition, aquatic resources from freshwater ecosystems were also accessible as in other European inland areas at that time (e.g. Jochim, 2011).

In this paper, we focus on human individuals from Île-de-France region in the Paris Basin during the end of the Preboreal and the Boreal chronozones, examining their diet through the stable isotope analysis of bone collagen, in comparison with associated large ungulates. Our aim is to reconstruct the main sources of animal protein for these individuals, and to determine the habitat of their most common prey, as informed by zooarchaeological analysis. Ultimately, our goal is to assess the extent to which these Mesolithic hunter-gatherers relied on terrestrial resources, and, among them, those derived from forested ecosystems.

l'analyse archéozoologique. En définitive, nous cherchons à évaluer dans quelle mesure ces chasseurs-cueilleurs mésolithiques dépendaient des ressources terrestres, et parmi celles-ci, la part de celles issues des écosystèmes forestiers.

RÉGIME ALIMENTAIRE ET ENVIRONNEMENT : APPORT DES ISOTOPES STABLES DU COLLAGÈNE

Les rapports isotopiques du carbone et de l'azote dans le collagène osseux permettent de retracer les sources de protéines alimentaires. Étant donné que le collagène osseux se renouvelle sur une période variant de plusieurs années à des décennies (Hedges *et al.*, 2007), il reflète la contribution moyenne des composants alimentaires sur le long terme. Chez les groupes de chasseurs-cueilleurs, cette approche met l'accent sur la consommation de viande animale plutôt que celle de tissus végétaux, en raison de la teneur protéique plus élevée des tissus animaux (Bocherens, 2009). Les rapports isotopiques du carbone chez les animaux terrestres reflètent les caractéristiques de leur habitat, notamment les conditions de photosynthèse des plantes en milieu tempéré, où la voie photosynthétique en C_3 prédomine (synthèse dans Kohn, 2010). Une intensité lumineuse réduite et une humidité élevée, conditions typiques sous un couvert forestier dense, entraînent des rapports $^{13}C/^{12}C$ plus faibles chez les plantes (Van der Merwe et Medina, 1991). Ces signatures isotopiques sont ensuite transférées aux herbivores forestiers (Drucker *et al.*, 2008). Les rapports $^{15}N/^{14}N$ dans le collagène osseux des herbivores dépendent de leur comportement alimentaire : le pâturage (consommation de graminées et de dicotylédones herbacées) conduit généralement à des rapports $^{15}N/^{14}N$ plus élevés que le broutage (consommation de feuilles d'arbres et d'arbustes) (Högberg, 1997 ; Hobbie et Högberg, 2012). Ces contrastes isotopiques se retrouvent dans les valeurs isotopiques des prédateurs, animaux comme humains, avec un enrichissement trophique prévisible, plus marqué pour l'azote que pour le carbone (Bocherens et Drucker, 2003). Les ressources aquatiques se distinguent des ressources terrestres par des rapports $^{15}N/^{14}N$ plus élevés, tandis que leurs rapports $^{13}C/^{12}C$ sont comparables ou inférieurs à ceux des sources terrestres lorsqu'ils proviennent d'écosystèmes d'eau douce (Dufour *et al.*, 1999).

Plus récemment, les rapports isotopiques du soufre ($^{34}S/^{32}S$) dans le collagène osseux ont été utilisés pour détecter la consommation de ressources aquatiques (Richards *et al.*, 2001 ; Craig *et al.*, 2006). Les isotopes du soufre sont incorporés dans le collagène des herbivores et de leurs prédateurs via les protéines alimentaires et sont transférés le long de la chaîne trophique avec un fractionnement minime, voire nul (Richards *et al.*, 2003). Bien que les écosystèmes marins présentent systématiquement des rapports $^{34}S/^{32}S$ plus élevés que les écosystèmes terrestres, les systèmes d'eau douce ne se distinguent pas

DIET AND ENVIRONMENT BASED ON COLLAGEN STABLE ISOTOPES

Stable carbon and nitrogen isotopic ratios in bone collagen provide insight into the sources of dietary proteins. Since bone collagen is renewed over a period of years to decades (e.g. Hedges *et al.*, 2007), it reflects the average contribution of the dietary components over the long term. In hunter-gatherer groups, this emphasizes the intake of animal meat over plant tissues, due to the higher protein content of the former over the latter (e.g. Bocherens, 2009). The carbon isotopic ratios in terrestrial animals reflect characteristics of their habitat, specifically the conditions of plant photosynthesis in temperate environment where the C_3 photosynthetic pathway predominates (review in Kohn, 2010). Lower light intensity and higher humidity, both typical conditions under a dense forest canopy, results in lower $^{13}C/^{12}C$ ratios in plants (e.g. Van der Merwe and Medina, 1991). These isotopic signatures are subsequently transferred to forest-dwelling herbivores (e.g. Drucker *et al.*, 2008). The $^{15}N/^{14}N$ ratios in herbivore bone collagen depend on their feeding behavior: grazing (consumption of graminoids and forbs) generally leads to higher $^{15}N/^{14}N$ ratios than browsing (consumption of tree and shrub leaves) (e.g. Högberg, 1997; Hobbie and Högberg, 2012). These isotopic contrasts are reflected in the isotopic values of both animal and human predators, with a predictable trophic enrichment, more substantial for ^{15}N than for ^{13}C (e.g. Bocherens and Drucker, 2003). Aquatic resources differ from terrestrial ones by exhibiting higher $^{15}N/^{14}N$ ratios, while their $^{13}C/^{12}C$ ratios are comparable to or lower than those of terrestrial sources when derived from freshwater ecosystems (e.g. Dufour *et al.*, 1999).

More recently, sulfur isotope ratios ($^{34}S/^{32}S$) in bone collagen have been considered to detect the consumption of aquatic resources (e.g. Richards *et al.*, 2001; Craig *et al.*, 2006). Sulfur isotopes are incorporated into the collagen of herbivores and their predators through dietary protein and are transferred along the food chain with minimal, if any, fractionation (e.g. Richards *et al.*, 2003). While marine ecosystems consistently exhibit higher $^{34}S/^{32}S$ ratios than terrestrial ones, freshwater systems do not necessarily differ from terrestrial environments in their sulfur stable isotope composition (e.g. Privat *et al.*, 2007). This is due to the high variability in sulfur sources and cycling conditions in both freshwater and terrestrial ecosystems (Peterson and Fry, 1987; Thode, 1991). Establishing the baseline using contemporaneous animal specimens is therefore essential. Comparative specimens should also be selected from the local environment, as biologically available $^{34}S/^{32}S$ ratios are influenced by local geochemical processes and the geological background, with additional inputs from hydrological systems (e.g. rain, groundwater) and atmospheric depositions (e.g. sea-spray, volcanic emission) (review in Nehlich, 2015).

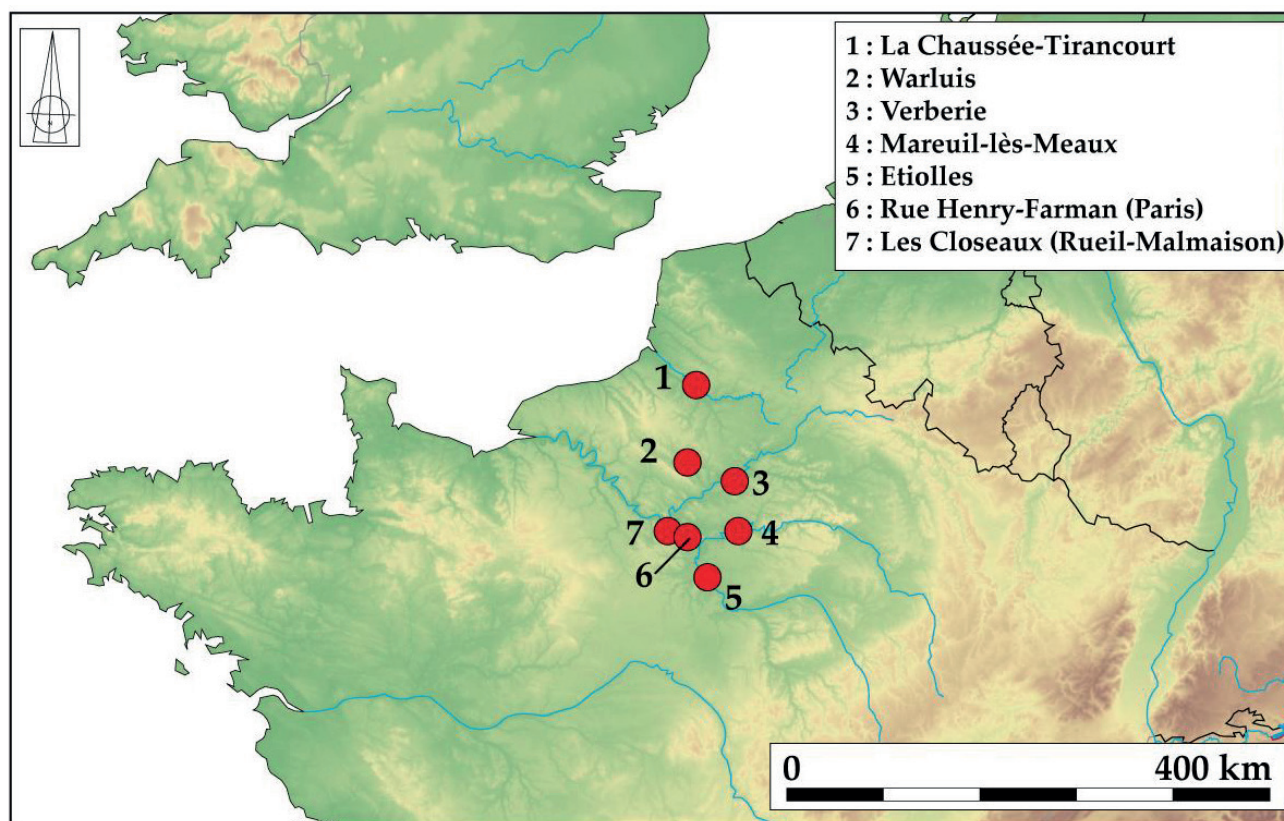


Fig. 1 – Localisation géographique des sites sélectionnés pour cette étude.

Fig. 1 – Geographical location of the sites selected for this study.

nécessairement des environnements terrestres par leur composition isotopique en soufre (Privat *et al.*, 2007). Cette variabilité s'explique par la diversité des sources de soufre et des conditions de cyclage dans les écosystèmes d'eau douce et terrestres (Peterson et Fry, 1987 ; Thode, 1991). L'établissement d'une base de référence à partir d'échantillons animaux contemporains s'avère donc essentiel. Les spécimens de comparaison doivent également être sélectionnés dans l'environnement local, car les rapports $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ biodisponibles sont influencés par les processus géochimiques locaux et le contexte géologique, avec des apports supplémentaires provenant des systèmes hydrologiques (pluie, eaux souterraines) et des dépôts atmosphériques (embruns marins, émissions volcaniques) (synthèse dans Nehlich, 2015).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Sépultures humaines

Les sépultures humaines datées de la fin du Préboréal et du Boréal en Île-de-France, étudiées ici, proviennent de quatre sites (fig. 1 ; tabl. 1). La première a été mise au jour à Mareuil-lès-Meaux, « les Vignolles », lors de fouilles préventives menées en 2001 sur une superficie d'un hectare, révélant une inhumation mésolithique parmi des sépultures du Néolithique ancien et une nécropole de l'âge du Bronze (Cottiaux *et al.*, 2001 ; Valentin

MATERIAL AND METHODS

Human burials

Human burials from the late Preboreal and Boreal period in the Île-de-France region, as studied here, have been found at four sites (Fig. 1; Table 1). The first was found at Mareuil-lès-Meaux, “les Vignolles”, during preventive excavations conducted in 2001 over an area of more than one hectare which led also to the discovery of one Mesolithic inhumation, alongside Early Neolithic burials and a Bronze Age necropolis (Cottiaux *et al.*, 2001; Valentin *et al.*, 2008). A second burial was identified in 1994 at the site of Etiolles, “les Coudray”, during an archaeological assessment covering a large area of 6.7 hectares (Le Grand and Brunet, 1994). Marked on the surface by an ochre-stained circular area, this burial was found at a distance from other historic, protohistoric, Neolithic, and Paleolithic remains (Le Grand and Brunet, 1994). The third burial was identified in 1996–1997 at “les Closeaux”, Rueil-Malmaison, where a large excavation of approximately 1.5 hectares yielded numerous Mesolithic remains, interpreted as evidence of successive, short-term temporary camps (Lang, 1997). Two areas at this site provided human remains attesting to funerary practices. In the northeast, in Sector I, burnt stones and burnt human remains were found spread across 40 m², suggesting cremation (Valentin *et al.*, 2008). The inhumation studied here was discovered approximately 80 meters

Lab ID	Site	Locality, district	Individual	¹⁴ C age uncal BP	¹⁴ C ageID	Calib age cal BP	Description	Source
MLM	Les Vignolles	Mareuil-lès-Meaux, Seine-et-Marne	MMV 2001 ST11	8320±90	GrN-27225	9530-9020	adult	5
VRB	Buisson-Campin	Verberie, Oise	VBC77 190 K17	8740±50	GrA-34097	9910-9540	infant	1
LCX	Les Closeaux	Rueil-Malmaison, Hauts-de-Seine	96 Sector 3 sud sep 1	8870±130	OxA-7109	10,240 -9550	gracile woman	4, 5
ELC	Les Coudray	Étiolles, Essonne	structure 11	8990±50	SacA-16648	10,250-9910	gracile adult	2, 3

Tabl. 1 – Liste des sites archéologiques d’Île-de-France ayant livré des restes humains datés du Préboréal final et du Boréal, sélectionnés pour cette étude avec des datations radiocarbone directes : 1, Audouze *et al.*, 2009 ; 2, Bosset, 2010 ; 3, Bosset and Valentin, 2013 ; 4, Lang *et al.*, 2008 ; 5, Valentin *et al.*, 2008.

Table 1 – List of the archaeological sites in Île-de-France with human remains dated from the late Preboreal and Boreal chronozones selected for this study with direct radiocarbon dating: 1, Audouze *et al.*, 2009; 2, Bosset, 2010; 3, Bosset and Valentin, 2013; 4, Lang *et al.*, 2008; 5, Valentin *et al.*, 2008.

et al., 2008). Une seconde sépulture a été identifiée en 1994 sur le site d’Étiolles, « les Coudray », lors d’un diagnostic archéologique couvrant 6,7 hectares (Le Grand et Brunet, 1994). Repérée en surface par une zone circulaire teintée d’ocre, cette sépulture était à distance des vestiges historiques, protohistoriques, néolithiques et paléolithiques retrouvés sur ce site (Le Grand et Brunet, 1994). La troisième sépulture a été découverte en 1996-1997 aux « Closeaux », à Rueil-Malmaison, où une fouille extensive de 1,5 hectare a livré de nombreux vestiges mésolithiques, interprétés comme les traces de campements temporaires successifs (Lang, 1997). Deux zones de ce site ont fourni des restes humains attestant de pratiques funéraires : au nord-est, dans le Secteur I, des pierres brûlées et des restes humains calcinés dispersés sur 40 m² évoquent une crémation (Valentin *et al.*, 2008) ; l’inhumation étudiée ici a été découverte à environ 80 mètres au sud-ouest, dans le Secteur II (Valentin, 1997). Enfin, la sépulture de Verberie a été mise au jour en 1977 lors de l’extension de la fouille de l’occupation magdalénienne du « Buisson Campin » (Audouze, 1978, 1986). Située dans le carré K17 de la zone 190, où les vestiges du Tardiglaciaire étaient rares, elle se trouvait à proximité d’un trou de poteau protohistorique. Une datation radiocarbone directe a confirmé que le squelette était postérieur à l’occupation magdalénienne (tabl. 1), ajoutant un cas supplémentaire à la documentation (Audouze *et al.*, 2009).

Ces sépultures, associées à l’occupation boréale de l’Île-de-France, sont généralement isolées et éloignées des vestiges domestiques, bien que l’interprétation reste incertaine pour Mareuil-lès-Meaux, où la sépulture est située en bordure de la zone fouillée (Bosset et Valentin, 2013). La situation est similaire à Verberie, où aucun artefact mésolithique n’a été retrouvé sur le site. Les trois sépultures d’Étiolles, des Closeaux et de Verberie présentent plusieurs points communs : les individus, différenciés par leur âge au décès (adultes à Étiolles et aux Closeaux, dont une femme aux Closeaux ; Valentin, 1997, et subadulte âgé d’un à deux ans à Verberie ; Audouze *et al.*, 2009), ont reçu un traitement funéraire identique. Ils ont été déposés dans une petite fosse d’un mètre de diamètre maximum, en position fortement contractée

to the southwest, in Sector II (Valentin, 1997). Finally, the burial at Verberie was discovered in 1977 during the extension of the excavation of the Magdalenian occupation at “Buisson Campin” (Audouze, 1978, 1986). It was found in square K17 of area 190, where the Lateglacial remains were scarce and located near a protohistoric posthole. A direct radiocarbon dating confirmed that the skeleton postdates the Magdalenian occupation (Table 1), thus adding another case (Audouze *et al.*, 2009).

These burials, associated with the Boreal occupation of the Île-de-France, are generally isolated and located at a distance from domestic remains, although the interpretation is uncertain for Mareuil-lès-Meaux because the burial is situated at the edge of the excavated area (Bosset and Valentin, 2013). The situation is similar at Verberie, where no Mesolithic artefacts were found on the site. The three burials at Étiolles, les Closeaux and Verberie share several similarities. The individuals, distinguished by their age at death, adults, at Étiolles and les Closeaux (including one female at les Closeaux; Valentin, 1997) and subadult (between one and two years old; Audouze *et al.*, 2009) at Verberie, received the same mortuary treatment. They were placed in a small pit of no more than one meter in diameter, in a very contracted position, either sitting or squatting, without any accompanying furniture, and immediately covered with sediment (Audouze, 2009; Bosset, 2010; Bosset and Valentin, 2013; Valentin *et al.* 2008). At Mareuil-lès-Meaux, an adult body was lying on its right side, limbs hyper flexed, right hand on the jaw, knees close to the chest, and feet at the pelvis level. It was filled with sediment from the pit (Valentin *et al.*, 2008). All the human individuals studied here were found as single individual in a context of primary burial.

Faunal remains

To investigate the protein sources in human diet, stable isotope ratios recorded in bone collagen were analyzed from faunal remains selected either from the same sites or from nearby Mesolithic open-air sites whose faunal assemblages have been studied or are currently being studied. Since the early Mesolithic period, during the Preboreal, the large game hunted in the Paris Basin has

(assise ou accroupie), sans mobilier associé, et immédiatement recouverts de sédiment (Audouze, 2009 ; Bosset, 2010 ; Bosset et Valentin, 2013 ; Valentin *et al.*, 2008). À Mareuil-lès-Meaux, le corps d'un adulte était allongé sur le côté droit, membres hyperfléchis, main droite sur la mandibule, genoux près de la poitrine et pieds au niveau du bassin. La fosse était comblée par le sédiment issu du creusement de la fosse (Valentin *et al.*, 2008). Tous les individus étudiés ici ont été découverts en inhumation primaire individuelle.

Restes fauniques

Pour étudier les sources de protéines dans le régime alimentaire humain, les rapports isotopiques stables enregistrés dans le collagène osseux ont été analysés à partir de restes fauniques sélectionnés soit sur les mêmes sites, soit sur des sites de plein air mésolithiques voisins dont les assemblages fauniques ont été étudiés ou sont en cours d'étude. Dès le Mésolithique ancien, durant le Préboréal, les grands gibiers chassés dans le Bassin parisien comprenaient quatre espèces récurrentes : le cerf élaphe (*Cervus elaphus*), le sanglier (*Sus scrofa*), le chevreuil (*Capreolus capreolus*) et l'aurochs (*Bos primigenius*), qui représentent généralement la majorité des restes dans les assemblages archéozoologiques (Bridault, 1997). Notre échantillonnage s'est concentré sur ces espèces d'ongulés, ainsi que sur une espèce de poisson, dont les restes osseux sont rares, voire absents, dans la plupart des sites étudiés. L'échantillonnage est également contraint par certains biais au sein des assemblages et par des processus post-dépositionnels. La densité des restes fauniques sur ces sites est généralement faible, à l'exception de La Chaussée-Tirancourt. À Warluis III, la bioturbation disperse les vestiges mésolithiques verticalement dans la couche limoneuse (« lb »), avec un remaniement post-dépositionnel observé jusqu'à trente centimètres de profondeur (Ducrocq, 2019, fig. 6). Cela peut se traduire par un profil sédimentaire plus homogène, rendant difficile l'identification de la limite entre les deux unités sédimentaires (« lb » et « lg »), ou entraîner la présence d'artefacts de différentes périodes mésolithiques au sein d'une même couche. Pour cette raison, lorsque cela était possible, des échantillons osseux directement datés ont été privilégiés afin de sélectionner ceux pouvant être attribués à la fin du Préboréal et au Boréal (ex. : Warluis IIIb, tabl. 2). L'état de conservation des ossements varie (de modéré à médiocre), de sorte que le pourcentage de restes identifiables est inférieur (voire bien inférieur) à 40 % du nombre total de vestiges. De même, l'intégrité chimique des os est généralement compromise, comme en témoigne le site parisien « 62 rue Henry-Farman », où seulement trois des 34 premiers échantillons testés se sont révélés aptes à l'analyse isotopique du collagène (Leduc *et al.*, 2013, p. 261). Ces facteurs soulignent la difficulté de reconstituer les stratégies de subsistance mésolithiques à partir des assemblages fauniques.

included four regularly recurring species: red deer (*Cervus elaphus*), wild boar (*Sus scrofa*), roe deer (*Capreolus capreolus*) and aurochs (*Bos primigenius*), which together generally account for the majority of remains in archaeofaunal assemblages (e.g., Bridault, 1997). Our sampling focused on these ungulate species, as well as one species of fish, whose bones are rare, if present, in most of the sites studied. Sampling is also constrained by certain patterns within the assemblages and by post-depositional processes. The density of faunal remains at these sites is generally low, except for La Chaussée-Tirancourt. At Warluis III, bioturbation causes the Mesolithic remains to be distributed vertically within the silty layer ("lb"), with post-depositional reworking observed up to a depth of thirty centimeters (Figure 6 in Ducrocq, 2019). This may result in a more uniform sedimentary profile, making the boundary between the two sedimentary units (here "lb" and "lg") difficult to identify, or leading to the presence of artefacts from different Mesolithic periods within the same layer. For this reason, whenever possible, directly dated bone samples has been favored to select those which could be related to the end of the Preboreal and the Boreal periods (e.g. Warluis IIIb in Table 2). The state of preservation of the bones varies (from moderate to poor), so that the percentage of identified specimens is less than (or even much less than) 40% of the total number of remains. Similarly, the chemical integrity of the bones is generally compromised. This was assessed at Paris "62 rue Henry-Farman", where only three out of the first 34 samples were found to be suitable for isotopic analysis of collagen (p. 261 in Leduc *et al.*, 2013). These factors highlight the challenge in reconstructing the Mesolithic subsistence strategies based on faunal assemblages.

Stable isotopes and radiocarbon dating methods

Bone samples were collected from the human individuals excavated at Mareuil-lès-Meaux, les Closeaux and Étiolles (Table 1). Additionally, a specimen from a Mesolithic burial at Verberie was considered for comparison (Audouze *et al.*, 2009). For the local baseline, we have considered bones from the main hunted large herbivores, namely wild boar (*Sus scrofa*, n=9), red deer (*Cervus elaphus*, n=9), roe deer (*Capreolus capreolus*, n=3) and aurochs (*Bos primigenius*, n=4) from the sites of les Closeaux, Henry-Farman, La Chaussée-Tirancourt and Warluis as well as one vertebra of pike *Esox Lucius* collected at les Closeaux (Table 2 and 3; Lang *et al.*, 2008; Audouze *et al.*, 2009; Leduc *et al.*, 2013; Bosset *et al.*, 2010; Coutard *et al.* 2010; Drucker *et al.*, 2020). The faunal samples from Henry-Farman (*Sus scrofa*, n=3; *Bos primigenius*, n=1), Warluis (*Sus scrofa*, n=2; *Cervus elaphus*, n=1; *Capreolus capreolus*, n=1) and some from La Chaussée-Tirancourt (*Cervus elaphus*, n=2) have been previously published for stable isotopes (Table 3; Leduc *et al.*, 2013; Drucker *et al.*, 2020). To these, we have added specimens from les Closeaux (*Sus scrofa*, n=4; *Cervus elaphus*, n=3; *Capreolus capreolus*, n=2; *Esox lucius*,

Lab ID	Site	Locality, district	Date on fauna	¹⁴ C age uncal BP	¹⁴ C ID	Calib age (2σ) cal BP	Source
LCX	Les Closeaux	Rueil-Malmaison, Hauts-de-Seine	bone, Sector I, 873/407	8220±50	GrA-13363	9410-9020	3
			bone, Sector II, 904/431 #78	8640±50	GrA-13364	9740-9520	3
			bone, Sector II, 904/430	8670±50	GrA-13977	9890-9530	3
PHF	62 rue Henry-Farman	15 ^e arrondissement, Paris	wild boar, locus 4, 08 décap. sud iso 822	8805±40	GrA-45017	10,150-9660	4
			wild boar, locus 6, est iso 1291	8930±55	GrA-50908	10,230-9810	4
			aurochs, locus 4, 08 décap. sud iso 895	9285±40	GrA-45018	10,580-10,290	4
CTpm	Le Petit Marais	La Chaussée-Tirancourt, Somme	red deer, upper Ib, 10 V1 SE #8	8290±50	GrA-25178	9460-9030	2
			red deer, lbs, 10 N11 NW #7883	8450±60	Erl-9390	9540-9300	2
WRL	Warluis	Warluis, Oise	red deer, IIIb, base tourbe AY 17	8490±60*	GrA-23552	9550-9320	1
			wild boar, IIc, Ib 7W 4	8760±60	GrA-23549	10,120-9540	1
			roe deer, IIIb, base tourbe BB 16 NW 623	8766±65*	Erl-9384	10,130-9540	1
			wild boar, IIc, I100 SE Ib	8810±70	GrA-23540	10,160-9550	1
			wild boar, IIc, E96 NE Ib 75	8830±60	GrA-23550	10,180-9670	1
			wild boar, IIc, Ib 6W 3	9090±70	GrA-23542	10,500-9960	1

Tabl. 2 – Liste des sites archéologiques du Bassin parisien ayant livré des restes fauniques datés du Préboréal final et du Boréal, sélectionnés pour cette étude avec des datations radiocarbone directes. * non associé à la faune de l’occupation principale. Références : 1, Coutard *et al.*, 2010; 2, Drucker *et al.*, 2020; 3, Lang *et al.*, 2008; 4, Leduc *et al.*, 2013.

Table 2 – List of the archaeological sites in the Paris Basin with faunal remains dated from the late Preboreal and Boreal chronozones selected for this study with direct radiocarbon dating. * not associated with the fauna from the main occupation. References: 1, Coutard *et al.* 2010; 2, Drucker *et al.*, 2020; 3, Lang *et al.*, 2008; 4, Leduc *et al.*, 2013.

Méthodes d’analyse des isotopes stables et de datation radiocarbone

Des échantillons osseux ont été prélevés sur les individus humains exhumés à Mareuil-lès-Meaux, aux Closeaux et à Étiolles (tabl. 1). Un spécimen issu de la sépulture mésolithique de Verberie a également été intégré à des fins de comparaison (Audouze *et al.*, 2009). Pour établir la base de référence locale, nous avons considéré des ossements des principaux ongulés chassés, à savoir le sanglier (*Sus scrofa*, n=9), le cerf élaphe (*Cervus elaphus*, n=9), le chevreuil (*Capreolus capreolus*, n=3) et l’aurochs (*Bos primigenius*, n=4), provenant des sites des Closeaux, Henry-Farman, La Chaussée-Tirancourt et Warluis, ainsi qu’une vertèbre de brochet (*Esox lucius*) collectée aux Closeaux (tabl. 2 et 3 ; Lang *et al.*, 2008 ; Audouze *et al.*, 2009 ; Leduc *et al.*, 2013 ; Bosset *et al.*, 2010 ; Coutard *et al.*, 2010 ; Drucker *et al.*, 2020). Les échantillons fauniques de Henry-Farman (*Sus scrofa*, n=3 ; *Bos primigenius*, n=1), de Warluis (*Sus scrofa*, n=2 ; *Cervus elaphus*, n=1 ; *Capreolus capreolus*, n=1) et certains de La Chaussée-Tirancourt (*Cervus elaphus*, n=2) ont déjà fait l’objet de publications pour leurs isotopes stables (tabl. 3 ; Leduc *et al.*, 2013 ; Drucker *et al.*, 2020). Nous y avons ajouté des spécimens des Closeaux (*Sus scrofa*, n=4 ; *Cervus elaphus*, n=3 ; *Capreolus capreolus*, n=2 ; *Esox lucius*, n=1), ainsi que la majorité de ceux de La Chaussée-Tirancourt (*Cervus elaphus*, n=3 ; *Bos primigenius*, n=3) (tabl. 3).

n=1), and most of those from La Chaussée-Tirancourt (*Cervus elaphus*, n=3; *Bos primigenius*, n=3) (Table 3).

For all samples, nitrogen content was measured in bone powder to select those with a minimum of 0.4%, which indicates the presence of at least 10% remaining organic matter (Bocherens *et al.*, 2005). Elemental analysis was conducted on samples that had been ground into powder after being cleaned with distilled water and acetone. Measurements were performed on 5 milligrams of bone powder using a CHN elemental analyzer (Vario ELIII elemental analyzer). The results were reported with a precision of 0.02% for carbon and 0.05% for nitrogen. Bone samples containing at least 0.4% nitrogen (N_b) were then subjected to collagen extraction following the protocol described by Krajcarz *et al.* (2024).

The elemental and isotopic analyses were conducted at the Institut des Sciences de l’Évolution (ISEM) at the University of Montpellier 2 (France) using a CHN-elemental analyzer (Eurovector) coupled to a VG-Optima continuous-flow ratio mass spectrometer for some faunal specimens (CTpm-1 to CTpm-9, LCX-1 to LCX-3, WRL-1). The other faunal remains and human specimens were analyzed at the geochemical unit of the Geoscience Department at the University of Tübingen (Germany) using a NC 2500 elemental analyzer connected to a ThermoQuest Delta+XL mass spectrometer. The isotopic ratios are expressed in permil (‰) using the “δ” (delta) value as follows: $\delta^{13}\text{C} = [({}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C})_{\text{sample}}/({}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C})_{\text{standard}} - 1]$

Lab ID	Species	Element	Excavation references	N _b (%)	Yield (%)	C (%)	N (%)	C:N	δ ¹³ C (‰)	δ ¹⁵ N (‰)	Age ¹⁴ C	Ref ¹⁴ C	Calib age cal BP	Source ¹⁴ C	Source ¹³ C ¹⁵ N
VRB-3	Human	humerus L	VBC77 190 K17	2.1	8.2	40.4	15.0	3.1	-19.8	13.8	8740±50	GrA-34097	9910-9540	1	1
ELC-1	Human	skull	Str 11	1.4	4.9	41.3	14.8	3.3	-20.3	10.4	8990±50	SacA-16648	10,250 -9910	2	this work
LXC-13	Human	femur	96 3 sud sépulture 1, sect III	0.9	2.8	40.5	15.1	3.1	-20.7	11.1	8825±40	ETH-55183	10,150- 9690	this work	this work
MLM-1	Human	femur R	MMV 2001 25.07.01 ST11	1.0	6.2	39.1	13.0	3.5	-21.7	10.8	8404±28	ETH-109626	9530- 9310	this work	this work
LXC-1	Red deer	occipital	96 872/407 #19 Sect I	0.8	1.4	28.6	10.0	3.3	-22.2	4.3					this work
LXC-2	Red deer	talus	96 872/407 #10 Sect I	1.2	2.5	29.9	11.3	3.1	-22.6	6.2					this work
LXC-3	Red deer	tibia L	96 673/382 #16 Sect VII	0.5	2.2	25.1	9.8	3.0	-21.9	6.3					this work
LXC-5	Wild boar	tibia L	96 855/405 #45 Sect I	0.1	-	-	-	-	-	-					this work
LXC-6	Wild boar	humerus L	96 904/431 #31 Sect II	0.5	1.6	33.4	11.7	3.3	-20.4	6.7					this work
LXC-7	Wild boar	femur R	96 904/432 #30 Sect II	0.7	1.6	41.4	14.5	3.3	-19.7	7.6					this work
LXC-8	Wild boar	ulna R	96 903/434 #27 Sect II	1.0	2.7	41.0	14.6	3.3	-20.3	6.3	8621±34	ETH-125952	9680-9530	this work	this work
LXC-9	Roe deer	humerus	96 904/431 #31 Sect II	0.5	2.6	9.7	4.5	2.5	(-22.6)	(6.2)					this work
LXC-10	Roe deer	metapodial	96 904/431 #31 Sect II	0.4	1.1	14.5	5.4	3.1	(-24.0)	(6.0)					this work
LXC-12	Pike	vertebra I	96 906/431 #33 Sect II	1.0	2.9	34.7	11.8	3.4	-24.3	11.8					this work
PHF-9	Wild boar	humerus R	08 décap. sud iso 822 locus 4	0.6	1.4	29.5	9.9	3.5	-20.9	5.3	8805±40	GrA-45017	10,150-9660	5	5
PHF-10	Wild boar	humerus R	08 décap. sud iso 876 locus 4	0.7	1.9	35.1	12.2	3.4	-20.1	5.9					5
PHF-31	Wild boar	radius L	est iso1291 locus 6	0.5	1.4	39.5	14.2	3.3	-20.0	5.6	8930±55	GrA-50908	10,230-9810	5	5
PHF-11	Aurochs	metatarsal R	08 décap. sud iso 895 locus 4	0.9	2.9	39.2	14.5	3.2	-20.8	6.5	9285±40	GrA-45018	10,580-10,290	5	5
CTpm-6	Red deer	phalanx II	10 V1 SE #8 upper lb	0.9	2.0	37.9	13.8	3.2	-23.3	3.7	8290±50	GrA-25178	9460-9030	4	4
CTpm-7	Red deer	phalanx I	10 S2 SW lb	1.0	1.5	38.3	14.4	3.1	-23.5	3.4					this work
CTpm-1	Red deer	phalanx I	10 S2 SW upper lb	0.7	1.0	35.7	13.6	3.1	-22.7	5.7					this work
CTpm-2	Red deer	tibia L	10 P10 SW 2808 #2808 lb	0.6	1.2	31.2	12.1	3.0	-22.1	3.9					this work
CTpm-11	Red deer	metacarpal L	10 N11 NW #7883 lbs	1.1	2.3	34.5	11.8	3.4	-23.2	3.9	8450±60	ErI-9390	9540-9300	4	4
CTpm-10	Aurochs	humerus	4 W 25 SE #4190 lb(c1)	1.1	4.7	16.1	5.7	3.3	(-23.5)	(5.9)					this work
CTpm-13	Aurochs	radius	10 P10 NW #2791 lb	0.7	0.7	21.5	7.6	3.3	(-23.3)	(6.0)					this work
CTpm-14	Aurochs	metatarsal	10 W2 NE lb(c)	1.5	2.3	39.0	13.5	3.4	-23.7	7.4					this work
WRL-1	Red deer	metacarpal	AY17 base tourbe IIlb	2.9	7.8	42.0	15.3	3.2	-23.0	6.4	8490±60	GrA-23552	9550-9320	3	4
WRL-7	Roe deer	humerus	BB16NW#623 base tourbe IIIb	2.1	2.7	40.9	14.5	3.3	-23.3	7.0	8766±65	ErI-9384	10,130 -9540	3	4
WRL-11	Wild boar	humerus	YY64lb#1900 lb	1.7	3.8	42.1	14.8	3.3	-19.8	7.1	8830±60	GrA-23550	10,180- 9670	3	4
WRL-12	Wild boar	femur	E96NElb#75 Ilc	2.1	8.0	42.7	15.1	3.3	-20.5	8.5	9090±70	GrA-23542	10,500-9960	3	4

Tabl. 3 – Résultats de l'analyse des isotopes stables du collagène ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) provenant de restes humains et animaux. La teneur en azote de l'os et le rendement d'extraction du collagène sont indiqués respectivement par Nb et Yield. La composition en carbone et en azote du collagène est exprimée en teneurs élémentaires (C, N) et en rapports atomiques (C:N). Abréviations des noms des sites telles qu'indiquées dans les tableaux 1 et 2. L indique le côté gauche et R le côté droit. Les valeurs soulignées correspondent à des données hors de l'intervalle attendu. Les valeurs isotopiques entre parenthèses ont été exclues de la discussion en raison de problèmes de conservation. Références : 1, Audouze et al., 2009; 2, Bosset et al., 2010; 3, Coutard et al., 2010; 4, Drucker et al., 2020; 5, Leduc et al., 2013.

Table 3 – Results of stable isotope analysis of collagen ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) from human and animal remains. Nitrogen content of bone and collagen extraction yield are reported as Nb and Yield. The carbon and nitrogen composition of the collagen is reported as elemental contents (C, N) and atomic ratios (C:N). Abbreviations if site names as indicated in tables 1 and 2. L stands for left and R for right. Underlined number correspond to values out of the expected range. Isotopic values between brackets were excluded from the discussion due to preservation issues. References: 1, Audouze et al., 2009; 2, Bosset et al., 2010; 3, Coutard et al., 2010; 4, Drucker et al., 2020; 5, Leduc et al., 2013.

Pour tous les échantillons, la teneur en azote a été mesurée dans la poudre d'os afin de sélectionner ceux présentant un minimum de 0,4 %, ce qui indique la présence d'au moins 10 % de matière organique résiduelle (Bocherens *et al.*, 2005). L'analyse élémentaire a été réalisée sur des échantillons réduits en poudre après nettoyage à l'eau distillée et à l'acétone. Les mesures ont été effectuées sur 5 milligrammes de poudre osseuse à l'aide d'un analyseur élémentaire CHN (Vario ELIII). Les résultats ont été rapportés avec une précision de 0,02 % pour le carbone et de 0,05 % pour l'azote. Les échantillons osseux contenant au moins 0,4 % d'azote (N_b) ont ensuite subi une extraction de collagène selon le protocole décrit par Krajcarz *et al.*, (2024).

Les analyses élémentaires et isotopiques ont été menées à l'Institut des Sciences de l'Évolution (ISEM) de l'Université de Montpellier 2 (France) à l'aide d'un analyseur élémentaire CHN (Eurovector) couplé à un spectromètre de masse à rapport isotopique en flux continu VG-Optima pour certains spécimens fauniques (CTpm-1 à CTpm-9, LCX-1 à LCX-3, WRL-1). Les autres restes fauniques et les échantillons humains ont été analysés à l'unité de géochimie du Département des Géosciences de l'Université de Tübingen (Allemagne) à l'aide d'un analyseur élémentaire NC 2500 connecté à un spectromètre de masse ThermoQuest Delta+XL. Les rapports isotopiques sont exprimés en pour mille (‰) selon la notation « δ » (delta) : $\delta^{13}C = [(^{13}C/^{12}C)_{\text{échantillon}} / (^{13}C/^{12}C)_{\text{étalon}} - 1]$ et $\delta^{15}N = [(^{15}N/^{14}N)_{\text{échantillon}} / (^{15}N/^{14}N)_{\text{étalon}} - 1]$. Les mesures ont été étalonnées par rapport aux standards internationaux (V-PDB pour le carbone et AIR pour l'azote) à l'aide de sucrose de canne ($\delta^{13}C = -11,0$ ‰), d'urée ($\delta^{15}N = -0,33$ ‰), de USGS-24 ($\delta^{13}C = -16,05$ ‰) et d'IAEA-N-2 ($\delta^{15}N = +20,30$ ‰). La dérive et l'incertitude des mesures ont été prises en compte à l'aide de matériaux de référence internes constitués de collagène moderne de chameau ($\delta^{13}C = -14,76$ ‰, $\delta^{15}N = +8,03$ ‰) et d'élan ($\delta^{13}C = -23,87$ ‰, $\delta^{15}N = +2,66$ ‰). La précision analytique, basée sur des mesures en répliquats intra-série, était de $\pm 0,1$ ‰ pour le $\delta^{13}C$ et de $\pm 0,2$ ‰ pour le $\delta^{15}N$. L'erreur de répétabilité était inférieure à 2 % pour les quantités de carbone et d'azote dans le collagène.

La fiabilité biochimique du collagène a été évaluée en considérant sa composition chimique, notamment le rapport atomique C/N du collagène (C:N), qui doit se situer entre 2,9 et 3,6 (DeNiro, 1985), tout en veillant à ce que les pourcentages de carbone et d'azote dans le collagène soient supérieurs à 8 % et 3 %, respectivement (Ambrose, 1990). Pour les mammifères en contexte environnemental C₃, une limite supérieure plus conservatrice de 3,5 pour le rapport C:N peut être recommandée (Guiry et Szpak, 2021). Par ailleurs, un minimum de 30 % de carbone est conseillé en cas de faibles rendements d'extraction (< 1 %) ou pour les échantillons destinés à la datation radiocarbone (Van Klinken, 1999). Ces seuils ont été appliqués au collagène extrait des individus des Closeaux et de Mareuil-lès-Meaux, ainsi qu'à un spécimen de sanglier des Closeaux sélectionné pour la datation par spectrométrie de masse par accélérateur (AMS).

and $\delta^{15}N = [(^{15}N/^{14}N)_{\text{sample}} / (^{15}N/^{14}N)_{\text{standard}} - 1]$. The measurements were calibrated against international standards (V-PDB for carbon and AIR for nitrogen) using cane sucrose ($\delta^{13}C = -11,0$ ‰) and urea ($\delta^{15}N = -0,33$ ‰), USGS-24 ($\delta^{13}C = -16,05$ ‰), and IAEA-N-2 ($\delta^{15}N = +20,30$ ‰). Measurement drift and uncertainty were accounted for using in-house reference materials consisting in modern collagen of camel ($\delta^{13}C = -14,76$ ‰, $\delta^{15}N = +8,03$ ‰) and elk ($\delta^{13}C = -23,87$ ‰, $\delta^{15}N = +2,66$ ‰). Analytical precision, based on within-run replicate measurements, was $\pm 0,1$ ‰ for $\delta^{13}C$ and $\pm 0,2$ ‰ for $\delta^{15}N$. The repeatability error was less than 2% for the amounts of carbon and nitrogen in collagen.

The biochemical reliability of the collagen was assessed by considering its chemical composition, specifically the collagen C/N atomic ratio (C:N), which should range from 2.9 to 3.6 (DeNiro, 1985), and by ensuring that the percentages of collagen C and N are above 8% and 3%, respectively (Ambrose, 1990). For mammals in C₃ environmental contexts, a more conservative upper limit of 3.5 for the C:N ratio may be recommended (Guiry and Szpak, 2021). Additionally, a minimum of 30 % carbon is advised when dealing with low extraction yields (<1%) or samples intended for radiocarbon dating (Van Klinken, 1999). These thresholds were applied to collagen extracted from the individuals of les Closeaux and Mareuil-lès-Meaux, as well as from one wild boar specimen from les Closeaux selected for AMS radiocarbon dating. The latter was performed at the Ion Beam Physics Laboratory of ETH Zürich by measuring $^{14}C/^{12}C$ ratios using a MICADAS accelerator mass spectrometer. New results, together with compiled data on fauna and humans (Lang *et al.*, 2008; Audouze *et al.*, 2009; Bosset, 2010; Coutard *et al.*, 2010; Leduc *et al.*, 2013; Drucker *et al.*, 2020) were calibrated using OxCal v.4.4 according to the IntCal20 calibration dataset (Reimer *et al.*, 2020).

Elemental and isotopic analyses of sulfur were performed at the Geochemical Unit of the Geoscience Department at the University of Tübingen (Germany) using an NC2500 CHN-elemental analyzer coupled to a ThermoQuest Delta + XL mass spectrometer. The isotopic ratios are expressed in permil (‰) using the “ δ ” (delta) value as follows: $\delta^{34}S = [(^{34}S/^{32}S)_{\text{sample}} / (^{34}S/^{32}S)_{\text{standard}} - 1]$. Samples were calibrated to $\delta^{34}S$ values relative to V-CDT using NBS-123 ($\delta^{34}S = +17,10$ ‰), NBS-127 ($\delta^{34}S = +20,31$ ‰), IAEA-S-1 ($\delta^{34}S = -0,30$ ‰), and IAEA-S-3 ($\delta^{34}S = -32,49$ ‰). The reproducibility is $\pm 0,4$ ‰ for $\delta^{34}S$ measurements, and the error on S measurement is 5 %. We retained $\delta^{34}S$ values of samples whose C/S and N/S atomic ratios (C:S and N:S) fell within the range of 300–900 and 100–300, respectively (Nehlich and Richards, 2009), and whose collagen sulphur content (S) ranged from 0.13 to 0.26 %, as observed in modern mammalian collagen (Aldrich collagen $\delta^{34}S = +1,84$ ‰, modern camel $\delta^{34}S = +13,63$ ‰, and modern elk $\delta^{34}S = +6,68$ ‰) measured in the same sets. In the case of fish collagen, the preservation criteria differ with C:S and N:S that should fall within the range of 125–225 and 40–80, respectively, since their S content is higher

Cette dernière a été réalisée au Laboratoire de Physique des Faisceaux d'Ions de l'ETH Zurich en mesurant les rapports $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ à l'aide d'un spectromètre de masse MICADAS. Les nouveaux résultats, ainsi que les données compilées sur la faune et les humains (Lang *et al.*, 2008 ; Audouze *et al.*, 2009 ; Bosset, 2010 ; Coutard *et al.*, 2010 ; Leduc *et al.*, 2013 ; Drucker *et al.*, 2020), ont été calibrés à l'aide d'OxCal v.4.4 selon la base de données de calibration IntCal20 (Reimer *et al.*, 2020).

Les analyses élémentaires et isotopiques du soufre ont été réalisées à l'unité de géochimie du Département des Géosciences de l'Université de Tübingen (Allemagne) à l'aide d'un analyseur élémentaire NC2500 CHN couplé à un spectromètre de masse ThermoQuest Delta + XL. Les rapports isotopiques sont exprimés en pour mille (‰) selon la notation « δ » : $\delta^{34}\text{S} = [({}^{34}\text{S}/{}^{32}\text{S})_{\text{échantillon}} / ({}^{34}\text{S}/{}^{32}\text{S})_{\text{étalon}} - 1]$. Les échantillons ont été étalonnés par rapport aux valeurs $\delta^{34}\text{S}$ du standard V-CDT à l'aide de NBS-123 ($\delta^{34}\text{S} = +17,10$ ‰), NBS-127 ($\delta^{34}\text{S} = +20,31$ ‰), IAEA-S-1 ($\delta^{34}\text{S} = -0,30$ ‰) et IAEA-S-3 ($\delta^{34}\text{S} = -32,49$ ‰). La reproductibilité est de $\pm 0,4$ ‰ pour les mesures de $\delta^{34}\text{S}$, et l'erreur sur la mesure du soufre est de 5 %. Nous avons retenu les valeurs de $\delta^{34}\text{S}$ des échantillons dont les rapports atomiques C/S et N/S (C:S et N:S) se situaient dans les plages de 300-900 et 100-300, respectivement (Nehlich et Richards, 2009), et dont la teneur en soufre du collagène (S) était comprise entre 0,13 et 0,26 %, comme observé dans le collagène de mammifères modernes (collagène Aldrich $\delta^{34}\text{S} = +1,84$ ‰, chameau moderne $\delta^{34}\text{S} = +13,63$ ‰, et élan moderne $\delta^{34}\text{S} = +6,68$ ‰) mesurés dans les mêmes séries. Dans le cas du collagène de poissons, les critères de conservation diffèrent, avec des rapports C:S et N:S devant se situer entre 125-225 et 40-80, respectivement, leur teneur en soufre étant plus élevée que celle du collagène de mammifères (environ 0,40 à 0,85 %) (Nehlich et Richards, 2009).

Afin de simuler la contribution possible des différents groupes de proies à la fraction protéique du régime alimentaire humain, nous avons utilisé un modèle bayésien sous « R » (MixSIAR ; Stock et Semmens, 2016). Ce package emploie une approche statistique bayésienne, particulièrement robuste pour les petits échantillons ($n < 20$) (Inger *et al.*, 2010). Pour garantir une analyse statistique robuste, nous avons fixé la longueur de la chaîne de Markov (MCMC) à 1 000 000 avec un *burn-in* de 500 000 sur trois chaînes (Stock et Semmens, 2016). Cette approche combine la méthode de Monte-Carlo par chaînes de Markov, où chaque état dépend uniquement de l'état précédent, et la méthode de Monte-Carlo, qui utilise un échantillonnage aléatoire répété pour obtenir des résultats numériques. La convergence du modèle a été vérifiée à l'aide des tests de Gelman-Rubin et de Geweke. Le diagnostic de Gelman-Rubin teste la convergence de chaînes de Markov parallèles vers une même distribution ; des valeurs proches de 1, avec des valeurs inférieures à 1,1 généralement considérées comme acceptables (Gelman *et al.*, 2014). Le test de Geweke compare les moyennes des parties initiale et finale des chaînes de Markov à l'aide

than that of mammalian collagen (ca. 0.40 to 0.85%) (Nehlich and Richards, 2009).

To simulate the possible contribution of different prey group to the protein fraction of the human diet, we used a Bayesian Mixing Models in R (MixSIAR; Stock and Semmens, 2016). This package employs a Bayesian statistical approach, which is particularly robust for small sample sizes ($n < 20$) (Inger *et al.*, 2010). To ensure robust statistical analysis, we set the Markov Chain Monte Carlo (MCMC) chain length to 1,000,000 with a burn-in of 500,000 across three chains (Stock and Semmens, 2016). This approach combines Markov Chain, which is a sequence of possible events where each state's probability of occurring depends only on the previous state, and the Monte Carlo method, which uses repeated random sampling to obtain numerical results. Model convergence was verified using the Gelman-Rubin and Geweke tests. The Gelman-Rubin diagnostic tests that parallel Markov chains converge to the same distribution; when the values are near 1, with values below 1.1 generally considered acceptable (Gelman *et al.*, 2014). The Geweke test compares the means from the early and latter part of the Markov chains, using a two-sided z-test; if the means are equivalent, convergence is indicated (Stock and Semmens, 2016).

MixSIAR enabled us to reconstruct the most likely diet of the different human individuals based on the bone collagen $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values. The stable carbon and nitrogen isotope composition of a consumer is predictably enriched relative to that of its prey (e.g. Bocherens and Drucker, 2003). In this context, trophic enrichment factors (TEF) reflect the enrichment of ^{13}C and ^{15}N in the collagen of the consumer compared to that of the prey. For this study, we applied TEF values of $+1.1 \pm 0.2\text{‰}$ for $\delta^{13}\text{C}$ and $+3.8 \pm 1.1\text{‰}$ for $\delta^{15}\text{N}$, as published by Bocherens *et al.* (2015).

RESULTS

Collagen preservation

Among the newly tested specimens, one wild boar from les Closeaux (LCX-5) did not preserve enough organic matter to attempt a collagen extraction ($\text{Nb} < 0.4\%$; table 3). Four specimens yielded collagen that did not meet the quality criteria, either due to a C:N ratio < 2.9 (roe deer LCX-9), and/or yield $< 1\%$ (aurochs CTpm-13), and/or a carbon content $< 20\%$ (roe deer LCX-9, roe deer LCX-10 and aurochs CTpm-10). One wild boar from Henry-Farman (PHF-9) and the pike from les Closeaux exhibited sulfur contents lower than expected compared with their modern counterparts (0.12% and 0.26%, respectively). After removing these data and considering the insufficient quantity or quality (carbon and nitrogen content) from other extracted collagen, only 13 samples remained for $\delta^{34}\text{S}$ interpretation, including the three human adults.

d'un test z bilatéral ; si les moyennes sont équivalentes, la convergence est indiquée (Stock et Semmens, 2016).

MixSIAR nous a permis de reconstituer le régime alimentaire le plus probable des différents individus humains sur la base des valeurs $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du collagène osseux. La composition isotopique en carbone et azote stable d'un consommateur est systématiquement enrichie par rapport à celle de ses proies (Bocherens et Drucker, 2003). Dans ce contexte, les facteurs d'enrichissement trophique (TEF) reflètent l'enrichissement en ^{13}C et ^{15}N dans le collagène du consommateur par rapport à celui de la proie. Pour cette étude, nous avons appliqué des valeurs de TEF de $+1,1 \pm 0,2 \%$ pour le $\delta^{13}\text{C}$ et de $+3,8 \pm 1,1 \%$ pour le $\delta^{15}\text{N}$, comme publié par Bocherens *et al.*, (2015).

RÉSULTATS

Conservation du collagène

Parmi les nouveaux spécimens testés, un sanglier des Closeaux (LCX-5) ne contenait pas assez de matière organique pour tenter une extraction de collagène (Nb < 0,4 % ; tabl. 3). Quatre spécimens ont fourni un collagène ne répondant pas aux critères de qualité, soit en raison d'un rapport C:N < 2,9 (chevreuil LCX-9), soit d'un rendement < 1 % (aurochs CTpm-13), soit d'une teneur en carbone < 20 % (chevreuil LCX-9, chevreuil LCX-10 et aurochs CTpm-10). Un sanglier de Henry-Farman (PHF-9) et le brochet des Closeaux présentaient des teneurs en soufre inférieures à celles attendues par rapport à leurs homologues modernes (0,12 % et 0,26 %, respectivement). Après exclusion de ces données et compte tenu de la quantité ou de la qualité insuffisante (teneur en carbone et azote) du collagène extrait des autres échantillons, seuls 13 spécimens sont restés exploitables pour l'interprétation des $\delta^{34}\text{S}$, y compris les trois adultes humains.

Datations radiocarbones

Deux datations radiocarbones ont été réalisées sur les individus humains, et les résultats concordent avec ceux précédemment obtenus (tabl. 3 ; annexe 1, DOI : 10.5281/zenodo.17506713), tout en réduisant l'incertitude à moins de 50 ans et en fournissant ainsi des fourchettes calibrées plus précises. L'individu de Mareuil-lès-Meaux est passé de 9530-9020 cal BP (2 sigma) à 9530-9310 cal BP (2 sigma), ce qui situe son âge au milieu du Boréal. L'individu des Closeaux, dont la fourchette initiale s'étendait de 10240 à 9550 cal BP (2 sigma), présente désormais une fourchette temporelle plus restreinte de 10150 à 9690 cal BP (2 sigma). Sa position chronologique correspond approximativement à la transition Préboréal/Boréal, intermédiaire entre l'enfant de Verberie, qui appartient à la première partie du Boréal (9910-9540 cal BP, 2 sigma), et l'adulte d'Étiolles (10250 et 9910 cal BP, 2 sigma), contemporain de la fin du Préboréal (fig. 2).

Radiocarbon dating

Two radiocarbon dating were performed on the human individuals and the results align with those previously obtained (Table 3; Fig. S1 <https://doi.org/10.5281/zenodo.17506713>), while reducing the uncertainty to less than 50 years and thus providing more constrained calibrated ranges. The individual from Mareuil-lès-Meaux shifted from 9530-9020 cal BP (2 sigma) to 9530-9310 cal BP (2 sigma), anchoring its chronological age to the mid-Boreal. The individual from les Closeaux, which previously spanned from 10,240 to 9550 cal BP (2 sigma), shows a more constrained range of 10,150 to 9690 cal BP (2 sigma). Its chronological position corresponds roughly to the Preboreal to Boreal transition, intermediate between the infant from Verberie, who belongs to the first part of the Boreal (9910-9540 cal BP, 2 sigma), and the adult from Étiolles (10,250 and 9910 cal BP, 2 sigma), who is coeval with the end of the Preboreal (Fig. 2).

The new date for the wild boar from les Closeaux (9680-9530 cal BP, 2 sigma) is consistent with the results previously obtained from sector II (9740-9520 cal BP and 9890-9530 cal BP, 2 sigma). As for the dated fauna from sector I (9410-9020 cal BP, 2 sigma), the animal remains from sector II are coeval with the Boreal and are slightly more recent than the human remains found in sector III. The dated red deer remains from Ib and Ibs at La Chaussée-Tirancourt and IIIb at Warluis occupy an intermediate chronological position between the sector I and II of les Closeaux (9550 to 9030 cal BP; Fig. 2). The dated wild boar from Henry-Farman (locus 4 and 6) and Warluis (IIc) cover the transition from the end of the Preboreal to the first part of the Boreal (10,500 to 9,540 cal BP; Fig. 2). The aurochs from locus 4 at Henry-Farman was found the oldest, dating to the second part of the Preboreal (10,580-10,290 cal BP, 2 sigma). Altogether, the age range of the faunal remains encompasses the chronological positions of the humans from Étiolles, les Closeaux, Verberie and Mareuil-lès-Meaux.

Zooarchaeological profiles

Few faunal assemblages in the Paris Basin are securely dated to the early Preboreal chronozone. The Warluis IIIb occupation (11,800–11,200 cal BP), marking the beginning of the Mesolithic in the region, reveals a faunal spectrum dominated by red deer, followed by roe deer, aurochs, and wild boar among the ungulates (Tables 4 and 5). Subsequent assemblages from Warluis IIIa and V (ca. 11,000 cal BP) exhibit similar ungulate compositions, with roe deer being the predominant species (Tables 4 and 5). At les Closeaux IV (10,650–10,430 cal BP), roe deer remains the most represented species, with wild boar and red deer contributing similarly, alongside a single bovine remain (Tables 4 and 5).

Most of the faunal assemblages considered in this study—specifically les Closeaux II and VII, Warluis II, and loci 4 and 6 from Henry-Farman—date to the terminal Preboreal and the first half of the Boreal chronozone.

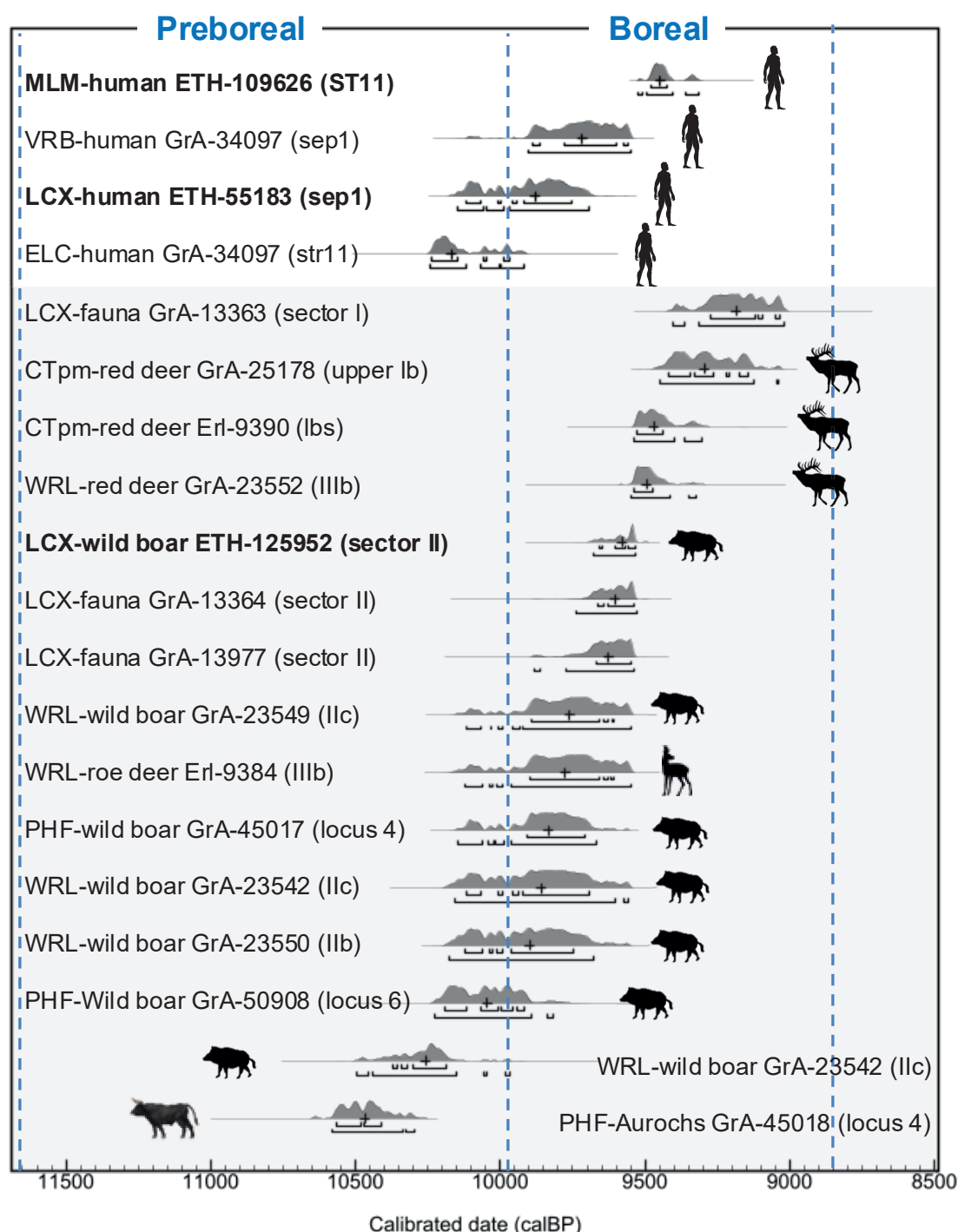


Fig. 2 – Âges radiocarbones calibrés (cal BP, 2 sigma) pour les échantillons animaux et humains datés provenant des Closeaux (LCX), Mareuil-lès-Meaux (MLM), Verberie (VRB), Étiolles (ELC), La Chaussée-Tirancourt (CTpm), Warluis (WRL) et Paris, « 62 rue Henry-Farman » (PHF), obtenus avec OxCal v.4.4 selon la courbe de calibration IntCal20 (Reimer *et al.*, 2020) (les dates en gras proviennent de cette étude).

Fig. 2 – Calibrated radiocarbon ages (cal BP, 2-sigma) for the dated animal and human samples from les Closeaux (LCX), Mareuil-lès-Meaux (MLM), Verberie (VRB), Étiolles (ELC), La Chaussée-Tirancourt (CTpm), Warluis (WRL) and Paris “62 rue Henry-Farman” (PHF), using OxCal v.4.4 according to the IntCal20 calibration dataset (Reimer *et al.*, 2020) (dates in bold are from this study).

La nouvelle date pour le sanglier des Closeaux (9680-9530 cal BP, 2 sigma) est cohérente avec les résultats précédemment obtenus pour le secteur II (9740-9520 cal BP et 9890-9530 cal BP, 2 sigma). Comme pour la faune datée du secteur I (9410-9020 cal BP, 2 sigma), les restes animaux du secteur II sont contemporains du Boréal et légèrement plus récents que

At the regional scale, these assemblages are among the best documented for this period. The microlithic industries associated with these sites belong to the Beuronian complex, characterized by points with retouched bases, which extended across the Paris Basin between ca. 10,300 and 9,500 cal BP (Ducrocq, 2009, 2013). Comparative analysis of twelve faunal spectra from this context reveals

Taxa/site	Wrl IIIb	Wrl IIIa	LCxIV	Bal MII	Wrl VII	Han IIN	PHF L6	LCx III	Wrl IIc	PHF L4	PHF L3	PHF L2	Wrl I	LCx II	SaVC inf	Sa 295	PHF L1	PHF L5	LCx I
Red deer	58	1	27		2	24	3	5	2	1	6	6		2	3	60	15	7	37
Roe deer	12	129	59			3		5	5		2	4		10	23	5	4	6	58
Wild boar	5	7	29	55	18	75	6	45	59	15	28	42	107	29	116	330	160	49	189
Bovinae	9		1	6						2		3			1	83	1		2
Red fox			4				3	2	1	1		16					5	4	7
Canid indeterminate	1																		
Wild cat																10			
Badger						4						1			2	4			
Marten					2	4						2			1	13	1		3
Otter																			2
Beaver	5					2		3							3	160			
Hare								1			1	5						2	2
Birds	1				2	4										4			6
Pond turtle												1							1
Pike														1					
Fish indeterminate																			2
Cervid antlers			5					1	1						7			2	9
Total ungulates	84	137	121	61	20	102	9	56	67	18	36	55	107	41	150	478	180	64	295
Total NISP	91	137	125	61	24	116	12	62	68	19	37	80	107	42	156	669	186	70	318

Tabl. 4 – Composition taxinomique (décompte en NISP : *Number of identified specimens*, ou Nombre de restes déterminés) des assemblages fauniques dans le Bassin parisien durant le Préboréal et le Boréal (données issues de Ducrocq *et al.*, 2008 (Warluis IIIb) ; Ducrocq *et al.*, 2014 (Warluis I) ; Ducrocq *et al.*, 2020 (Warluis VII) ; Lang *et al.*, 2008 (les Closeaux IV) ; Leduc *et al.*, 2013 (Paris « 62 rue Henry-Farman ») ; Paris *et al.*, 2022 (Balagny-sur-Thérain) ; Bignon-Lau *et al.*, 2013 (Saleux Les Baquets) ; Bridault, ce travail (Warluis IIIa, Warluis IIc, Hangest II Nord, les Closeaux I, II, III). NISP=NRD : Nombre de restes identifiés (micromammifères exclus). WRL IIIb : Warluis IIIb ; LCX I : les Closeaux secteur I ; Bal MII : Balagny-sur-Thérain « Mésolithique II » (secteur II) ; Han IIN : Hangest Gravière II Nord ; PHF L6 : Paris « 62 rue Henry-Farman », Locus 6 ; SaVC inf : Saleux Vierge Catherine « Mésolithique inférieur » ; Sa 295 : Saleux Les Baquets, secteur 295.

Table 4 – *Taxonomic composition (NISP counts) of faunal assemblages in the Paris Basin during the Preboreal and Boreal chronozones (data from Ducrocq et al., 2008 (Warluis IIIb); Ducrocq et al., 2014 (Warluis I); Ducrocq et al., 2020 (Warluis VII); Lang et al., 2008 (les Closeaux IV) ; Leduc et al., 2013 (Paris « 62 rue Henry-Farman); Paris et al., 2022 (Balagny-sur-Thérain), Bignon-Lau et al., 2013 (Saleux Les Baquets) ; Bridault, this work (Warluis IIIa, Warluis IIc, Hangest II Nord, les Closeaux I,II,III). NISP: Number of identified specimens (excluding micromammals). WRL IIIb: Warluis IIIb; LCx I: les Closeaux Area I; Bal MII: Balagny-sur-Thérain "Meso II" (Eq. area II); Han IIN: Hangest Gravière II Nord; PHF L6: Paris « 62 rue Henry-Farman, Locus 6; SaVC inf: Saleux Vierge Catherine "Mésolithique inférieur" ; Sa 295: Saleux les Baquets Area 295.*

les restes humains découverts dans le secteur III. Les restes de cerf datés des couches Ib et Ibs de La Chaussée-Tirancourt et IIIb de Warluis occupent une position chronologique intermédiaire entre les secteurs I et II des Closeaux (9550 à 9030 cal BP ; fig. 2). Les sangliers datés de Henry-Farman (loci 4 et 6) et de Warluis (IIc) couvrent la transition entre la fin du Préboréal et la première partie du Boréal (10 500 à 9 540 cal BP ; fig. 2). L'aurochs du locus 4 de Henry-Farman s'avère le plus ancien, datant de la seconde moitié du Préboréal (10 580-10 290 cal BP, 2 sigma). Dans l'ensemble, la fourchette d'âge des restes fauniques englobe les positions chronologiques des humains d'Étiolles, des Closeaux, de Verberie et de Mareuil-lès-Meaux.

Profils archéozoologiques

Peu d'assemblages fauniques du Bassin parisien sont datés avec certitude du Préboréal ancien. L'occupation de Warluis IIIb (11 800-11 200 cal BP), marquant le début du Mésolithique dans la région, révèle un spectre faunique dominé par le cerf élaphe, suivi du chevreuil, de l'aurochs et du sanglier parmi les ongulés (tabl. 4 et 5). Les

a consistent pattern: wild boar is systematically the most represented species, regardless of assemblage size (as measured by the number of identified specimens), appearing in the top rank in all twelve cases (Table 5). Red deer holds the second rank in five assemblages, while roe deer or aurochs occasionally occupy this position. In assemblages attributed to the latter half of the Boreal, this taxonomic hierarchy remains stable: wild boar consistently dominates, while red deer and roe deer alternate between the second and third positions.

The transition from red deer dominance in the earliest Preboreal assemblages to the systematic predominance of wild boar in later contexts reflects both environmental changes and adaptive responses by human groups. The stability of this taxonomic hierarchy into the Boreal suggests that, despite ongoing climatic and vegetational transformations, hunting practices and faunal availability remained relatively consistent during this period.

Stable isotopes of faunal remains

Based on their carbon and nitrogen isotopic values, large ungulates could be categorized into



ETL



LCx



VRB



MLM

Ky cal BP 2 σ	11,8 – 10,4			10,2 – 9,5 – Beuronian with crescents												9,4 – 9,0			
Taxa/site	Wrl IIIb	Wrl IIIa	LCxIV	Bal Mil	Wrl VII	Han IIN	PHF L6	LCx III	Wrl IIC	PHF L4	PHF L3	PHF L2	Wrl I	LCx II	SaVC inf	PHF L1	PHF L5	Sa 295	LCx I
Red deer	1	3	3		2	2	2	2	3	3	2	3		3	3	2	3		3
Roe deer	2	1	1					3	2		3			2	2		2		2
Wild boar	4	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1
Bovinae	3			2						2								3	
Red fox												2				3			
Canid																			
Wild cat																			
Badger						3													
Marten						3													
Otter									3										
Beaver																		2	
Hare																			
Birds																			
Pond turtle																			
Fishes																			
NISP	91	137	125	61	24	116	12	62	68	19	37	80	107	42	156	186	70	669	318
	Preboreal			Late Preboreal chronozone and first half of Boreal chronozone												Second half of Boreal			

Tabl. 5 – Description des assemblages fauniques dans le Bassin parisien durant les chronozones du Préboréal et du Boréal (données du tableau 4). Les cases en couleur indiquent la présence du taxon dans l'assemblage. 1, 2, 3 : Rangs décroissants. 1 correspond à la proie la plus abondante (en nombre de restes osseux). NISP : Nombre de spécimens déterminés (micromammifères exclus).

Table 5 – Description of faunal assemblages in the Paris Basin during the Preboreal and Boreal chronozones (data from Table 4). The coloured cells indicate the presence of the taxon in the faunal assemblage. 1, 2, 3: Decreasing ranks. 1 is the highest-ranked prey (i.e. the one with the most bone remains). NISP: Number of identified specimens (excluding micromammals).

assemblages ultérieurs de Warluis IIIa et V (vers 11 000 cal BP) présentent des compositions similaires en ongu-lés, avec une prédominance du chevreuil (tabl. 4 et 5). À Rueil-Malmaison, aux Closeaux IV (10 650-10 430 cal BP), le chevreuil reste l'espèce la plus représentée, avec des contributions similaires du sanglier et du cerf élaphe, ainsi qu'un reste bovin isolé (tabl. 4 et 5).

La majorité des assemblages fauniques considérés dans cette étude – spécifiquement les Closeaux II et VII, Warluis II, et les loci 4 et 6 de Henry-Farman – datent de la fin du Préboréal et de la première moitié du Boréal. À l'échelle régionale, ces assemblages figurent parmi les mieux documentés pour cette période. Les industries microlithiques associées à ces sites appartiennent au complexe Beuronien, caractérisé par des pointes à base retouchée, qui s'est étendu dans le Bassin parisien entre environ 10 300 et 9 500 cal BP (Ducrocq, 2009, 2013). L'analyse comparative de douze spectres fauniques de ce contexte révèle une configuration récurrente : le sanglier est systématiquement l'espèce la mieux représentée, indépendamment de la taille de l'assemblage (mesurée par le nombre de restes identifiés), occupant le premier rang dans les douze cas (tabl. 5). Le cerf élaphe se classe en deuxième position dans cinq assemblages, tandis que le chevreuil ou l'aurochs occupent occasionnellement cette place. Dans les assemblages attribués à la seconde moitié du Boréal, cette hiérarchie taxonomique reste stable : le sanglier domine toujours, tandis que le cerf élaphe et le chevreuil alternent entre la deuxième et la troisième position.

La transition d'une dominance du cerf élaphe dans les assemblages les plus anciens du Préboréal à la prédominance systématique du sanglier dans les contextes ultérieurs reflète à la fois des changements environnementaux

three distinct groups (Fig. S2 <https://doi.org/10.5281/zenodo.17506713>). The first group, composed exclusively of red deer was characterized by relatively low $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values (-23.5 to -22.1‰ and $+3.4$ to $+4.3\text{‰}$, respectively). The second group, including red deer, roe deer and aurochs, exhibited relatively low $\delta^{13}\text{C}$ and high $\delta^{15}\text{N}$ values (-23.7 to -21.9‰ and $+5.7$ to $+7.4\text{‰}$, respectively). The third group encompassed one aurochs and all measured wild boar which showed relatively high $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values (-20.9 to -19.7‰ and $+5.3$ to $+8.5\text{‰}$, respectively). Finally, the fish remains from les Closeaux showed distinctly lower $\delta^{13}\text{C}$ and higher $\delta^{15}\text{N}$ values (-24.3‰ and $+11.8\text{‰}$, respectively) compared with the large ungulates, which aligns with the isotopic pattern of freshwater versus terrestrial ecosystems.

Only 10 specimens provided reliable $\delta^{34}\text{S}$ values spanning from -0.8 to $+11.6\text{‰}$ (Table 5). Most of them were wild boar, meaning related to the third group defined on carbon and nitrogen isotopic values. Based on this relative low number of samples of the same species, no clear pattern could be determined besides a possible geographical contrast between Warluis (-0.8 and $+4.3\text{‰}$), les Closeaux ($+5.6$ to $+7.7\text{‰}$) and Henry-Farman ($+9.5$ to $+11.6\text{‰}$).

Stable isotopes of human individuals

The $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of the adults ranged from -21.7‰ (Mareuil-lès-Meaux) to -20.3‰ (Étiolles) and from $+10.4\text{‰}$ (Étiolles) to $+11.1\text{‰}$ (les Closeaux), respectively (Fig. 3; Table 3). The Verberie infant displayed higher $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values than any of the adults measured here, with elevations ranging from 0.5 to 1.9‰ and 2.7 to 3.4‰ , respectfully. This pattern is consistent with a pre-weaning dietary status.

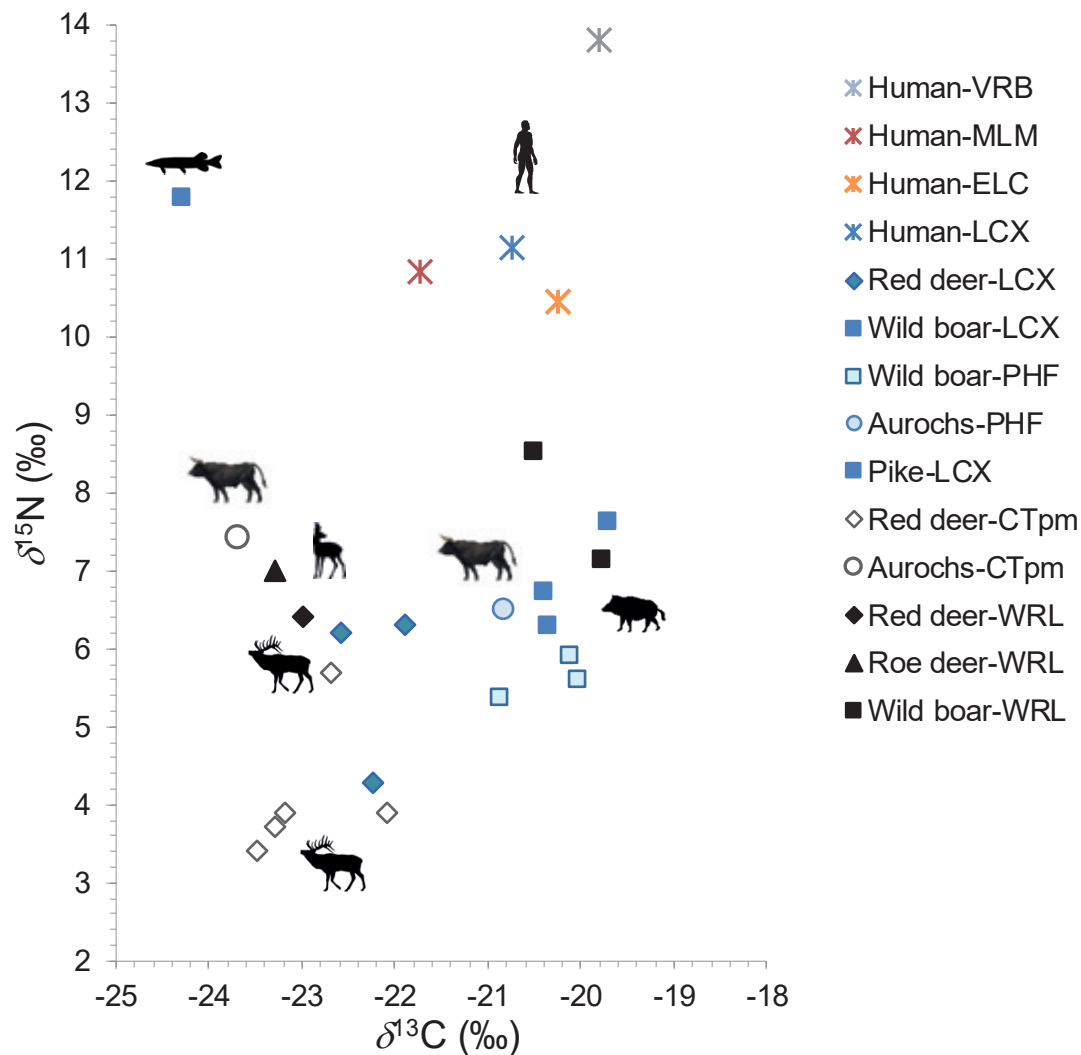


Fig. 3 – Valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du collagène osseux des individus humains d'Étiolles (ELC), Mareuil-lès-Meaux (MLM), Verberie (VRB) et les Closeaux (LCX), comparées à celles du cerf élaphe (*Cervus elaphus*), du chevreuil (*Capreolus capreolus*), du sanglier (*Sus scrofa*), de l'aurochs (*Bos primigenius*) et du brochet (*Esox lucius*) provenant des Closeaux (LCX), Henry-Farman (PHF), Chaussée-Tirancourt (CTpm) et Warluis (WRL).

Fig. 3 – Bone collagen $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of human from Etiolles (ELC), Mareuil-lès-Meaux (MLM), Verberie (VRB), and les Closeaux (LCX), compared with those of red deer (*Cervus elaphus*), roe deer (*Capreolus capreolus*), wild boar (*Sus scrofa*), aurochs (*Bos primigenius*) and pike (*Esox lucius*) from les Closeaux (LCX), Henry-Farman (PHF), Chaussée-Tirancourt (CTpm) and Warluis (WRL).

et des adaptations des groupes humains. La stabilité de cette hiérarchie taxonomique durant le Boréal suggère que, malgré les transformations climatiques et végétales en cours, les pratiques cynégétiques et la disponibilité faunique sont restées relativement constantes pendant cette période.

Isotopes stables des restes fauniques

Sur la base de leurs valeurs isotopiques en carbone et azote, les grands ongulés peuvent être classés en trois groupes distincts (annexe 2, DOI : 10.5281/zenodo.17506713). Le premier groupe, composé exclusivement de cerfs élaphes, se caractérise par des valeurs relativement basses de $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ (respectivement -23,5 à -22,1 ‰ et +3,4 à +4,3 ‰). Le deuxième groupe, incluant des cerfs élaphes, des chevreuils et des aurochs, présente des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ relativement basses et des

Prey animals exhibiting $\delta^{15}\text{N}$ values lower than ca. +5‰ – such as the red deer from the previously described first prey group - would not have contributed substantially to the protein intake of the studied human individuals. In contrast, terrestrial large herbivores from other groups exhibited $\delta^{15}\text{N}$ values high enough to account for the values observed in the human individuals, without the need to invoke aquatic food source, such as the pike from les Closeaux. Although the adult individuals were comparable in their $\delta^{15}\text{N}$ values, the individual from Mareuil-lès-Meaux exhibited the lowest $\delta^{13}\text{C}$ value. This suggests a difference in the origin of dietary protein, specifically a greater reliance on low- ^{13}C prey, such as those from the second group of prey previously described.

Their $\delta^{34}\text{S}$ values among the adult individuals varied from +5.0 (Mareuil-lès-Meaux) to +7.5‰ (Étiolles) (Table 5). The Verberie infant could not be measured for $\delta^{34}\text{S}$ due to the limited quantity of extracted collagen.

Lab ID	Species	Element	Excavation references	S (%)	$\delta^{34}\text{S}$ (‰)	C:S	N:S	Age ^{14}C	Ref ^{14}C	Calib age cal BP	Source ^{14}C	Source ^{34}S
ELC-1	Human	skull	Str 11	0.18	7.5	611	188	8990±50	SacA-16648	10,250 -9910	1	this work
LCX-13	Human	femur	96 3sud sépulture 1, sect III	0.13	5.2	802	257	8825±40	ETH-55183	10,150- 9690	this work	this work
MLM-1	Human	femur R	MMV 2001 25.07.01 ST11	0.15	5.0	701	199	8404±28	ETH-109626	9530- 9310	this work	this work
LCX-6	Wild boar	humerus L	96 904/431 #31 Sect II	0.17	7.7	530	159					this work
LCX-7	Wild boar	femur R	96 904/432 #30 Sect II	0.23	5.6	484	145					this work
LCX-8	Wild boar	ulna R	96 903/434 #27 Sect II	0.14	5.8	770	235	8621±34	ETH-125952	9680-9530	this work	this work
LCX-12	Pike	vertebra I	96 906/431 #33 Sect II	<u>0.26</u>	(-0.8)	357	104					this work
PHF-9	Wild boar	humerus R	08 décap. sud iso 822 locus 4	<u>0.12</u>	(10.2)	677	196	8805±40	GrA-45017	10,150-9660	4	this work
PHF-10	Wild boar	humerus R	08 décap. sud iso 876 locus 4	0.16	10.3	600	179					3
PHF-31	Wild boar	radius L	est iso1291 locus 6	0.18	9.5	595	183	8930±55	GrA-50908	10,230-9810	4	3
PHF-11	Aurochs	metatarsal R	08 décap. sud iso 895 locus 4	0.16	11.6	672	213	9285±40	GrA-45018	10,580-10,290	4	3
CTpm-11	Red deer	metacarpal L	10 N11 NW #7883 lbs	0.17	10.5	550	161	8450±60	Erl-9390	9540-9300	3	3
CTpm-14	Aurochs	metatarsal	10 W2 NE Ib(c)	0.17	5.8	609	181					this work
WRL-1	Red deer	metacarpal	AY17 base tourbe IIIb	-	-	-	-	8490±60	GrA-23552	9550-9320	2	3
WRL-7	Roe deer	humerus	BB16NW#623 base tourbe IIIb	-	-	-	-	8766±65	Erl-9384	10,130 -9540	2	3
WRL-11	Wild boar	humerus	YY64Ib#1900 IIb	0.19	-0.8	596	180	8830±60	GrA-23550	10,180- 9670	2	3
WRL-12	Wild boar	femur	E96NEIb#75 IIc	0.19	4.3	594	180	9090±70	GrA-23542	10,500-9960	2	3

Tabl. 6 – Résultats des analyses isotopiques stables du collagène ($\delta^{34}\text{S}$) provenant de restes humains et animaux. La composition en soufre du collagène est exprimée en teneurs élémentaires (S) et en rapports atomiques (C:S, N:S). L indique le côté gauche et R le côté droit. Les valeurs soulignées correspondent à des données hors de la variation attendue. Les valeurs isotopiques entre parenthèses ont été exclues de la discussion en raison de problèmes de conservation. Références : 1, Bosset, 2010 ; 2, Coutard *et al.*, 2010 ; 3, Drucker *et al.*, 2020 ; 4, Leduc *et al.*, 2013.

Table 6 – Results of stable isotope analysis of collagen ($\delta^{34}\text{S}$) from human and animal remains. The sulfur composition of the collagen is reported as elemental contents (S) and atomic ratios (C:S, N:S). L stands for left and R for right. Underlined number correspond to values out of the expected range. Isotopic values between brackets were excluded from the discussion due to preservation issues. References: 1, Bosset, 2010 ; 2, Coutard *et al.*, 2010 ; 3, Drucker *et al.*, 2020 ; 4, Leduc *et al.*, 2013.

valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ élevées (respectivement -23,7 à -21,9 ‰ et +5,7 à +7,4 ‰). Le troisième groupe comprend un aurochs et tous les sangliers mesurés, qui affichent des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ relativement élevées (respectivement -20,9 à -19,7 ‰ et +5,3 à +8,5 ‰). Enfin, les restes de poisson des Closeaux présentent des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ nettement plus basses et des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ plus élevées (-24,3 ‰ et +11,8 ‰, respectivement) par rapport aux grands ongulés, ce qui correspond au profil isotopique des écosystèmes dulçaquicoles par opposition aux écosystèmes terrestres.

Seuls 10 spécimens ont fourni des valeurs fiables de $\delta^{34}\text{S}$, s'échelonnant de -0,8 à +11,6 ‰ (tabl. 6). La plupart étaient des sangliers, liés au troisième groupe défini par les valeurs isotopiques du carbone et de l'azote. Sur la base de ce nombre relativement faible d'échantillons d'une même espèce, aucun schéma clair n'a pu être déterminé, à l'exception d'un possible contraste géographique entre Warluis (-0,8 et +4,3 ‰), les Closeaux (+5,6 à +7,7 ‰) et Henry-Farman (+9,5 à +11,6 ‰).

Overlapping $\delta^{34}\text{S}$ values between humans and large herbivores are expected if the human diet is primarily terrestrial based, which appears to be the case here (fig. 4). Among the large ungulates, the wild boar from les Closeaux specifically exhibits the most similar $\delta^{34}\text{S}$ range to that of the human individuals. Given that wild boar are non-migratory species and reflect local isotopic baselines, this similarity suggests that the human subsistence strategy was also based on locally available resources.

DISCUSSION

Human diet and subsistence: insights from faunal assemblages

Zooarchaeological data indicate a marked increase in the relative abundance of wild boar (*Sus scrofa*) from the end of the Preboreal onward, a trend that is consistent across multiple sites in the Paris Basin. At Warluis IIIb and IIIa, wild boar accounts for only 5% of identified ungulate specimens (NISP: 5 and 7, respectively), but

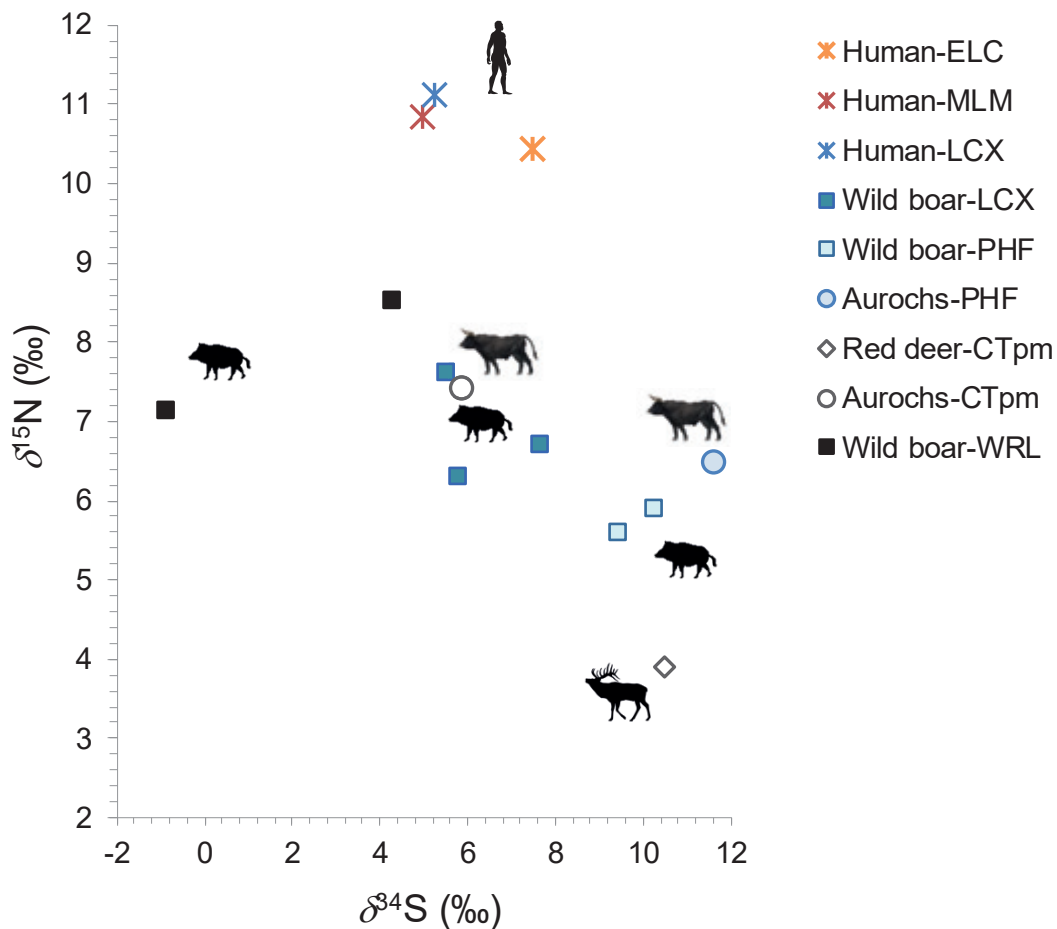


Fig. 4 – Valeurs de $\delta^{34}\text{S}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du collagène osseux des individus humains d'Étiolles (ELC), Mareuil-lès-Meaux (MLM) et les Closeaux (LCX), comparées à celles du cerf élaphe (*Cervus elaphus*), du sanglier (*Sus scrofa*) et de l'aurochs (*Bos primigenius*) provenant des Closeaux (LCX), Henry-Farman (PHF), Chaussée-Tirancourt (CTpm) et Warluis (WRL).

Fig. 4 – Bone collagen $\delta^{34}\text{S}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of human from Etiolles (ELC), Mareuil-lès-Meaux (MLM), and les Closeaux (LCX), compared with those of red deer (*Cervus elaphus*), wild boar (*Sus scrofa*) and aurochs (*Bos primigenius*) from les Closeaux (LCX), Henry-Farman (PHF), Chaussée-Tirancourt (CTpm) and Warluis (WRL).

Isotopes stables des individus humains

Les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des adultes varient respectivement de -21,7 ‰ (Mareuil-lès-Meaux) à -20,3 ‰ (Étiolles) et de +10,4 ‰ (Étiolles) à +11,1 ‰ (les Closeaux) (fig. 3 ; tabl. 3). L'enfant de Verberie présente des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ plus élevées que celles de tous les adultes mesurés ici, avec des écarts allant de 0,5 à 1,9 ‰ pour le $\delta^{13}\text{C}$ et de 2,7 à 3,4 ‰ pour le $\delta^{15}\text{N}$, ce qui est cohérent avec un statut physiologique de pré-sevrage.

Les proies animales présentant des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ inférieures à environ +5 ‰ – comme les cerfs élaphe du premier groupe de proies décrit précédemment – n'auraient pas contribué de manière substantielle à l'apport protéique des individus humains étudiés. En revanche, les grands herbivores terrestres des autres groupes présentaient des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ suffisamment élevées pour rendre compte des valeurs observées chez les individus humains, sans qu'il soit nécessaire d'invoquer une source alimentaire aquatique, telle que le brochet des Closeaux. Bien que les individus adultes présentent des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ comparables, l'individu de Mareuil-lès-Meaux

this proportion rises to 24% (NISP: 29) at les Closeaux IV a few centuries later. This trajectory culminates in a median representation of 75% in contexts associated with the Beuronian with crescents. This pattern decreases to 65.5% in later Boreal assemblages characterized by the late Beuronian, such as Saleux les Bacquets 295 (Bignon-Lau et al., 2013), les Closeaux I (Table 4) and Locus 1 and 5 at Henry-Farman (Leduc et al., 2013). The latter is attributed to the second half of the 8th millennium BCE (Souffi, 2023, pp. 252 et seq.). These findings align with earlier, however more limited studies (Bridault, 1997; Ducrocq et al., 2008; Coutard et al., 2010; Leduc et al., 2013). Several environmental and ecological factors likely facilitated the demographic expansion of wild boar populations. The establishment of temperate deciduous forests dominated by hazel (*Corylus*), the development of moist valley-bottom habitats, and a more temperate climate would have provided optimal foraging and reproductive conditions for this opportunistic omnivore. Given its high fertility, the wild boar was likely abundant and recurrently available to hunter-gatherer groups throughout the Boreal period.

affiche la valeur de $\delta^{13}\text{C}$ la plus basse. Cela suggère une différence dans l'origine des protéines alimentaires, et plus précisément une plus grande dépendance à l'égard de proies à faible $\delta^{13}\text{C}$, telles que celles du deuxième groupe précédemment décrit.

Les valeurs de $\delta^{34}\text{S}$ parmi les individus adultes varient de +5,0 ‰ (Mareuil-lès-Meaux) à +7,5 ‰ (Étiolles) (tabl. 4). Le $\delta^{34}\text{S}$ de l'enfant de Verberie n'a pu être mesuré en raison de la quantité limitée de collagène extrait. Des valeurs de $\delta^{34}\text{S}$ convergentes entre les humains et les grands herbivores sont attendues si le régime alimentaire humain est principalement basé sur des ressources terrestres, ce qui semble être le cas ici (fig. 4). Parmi les grands ongulés, les sangliers des Closeaux présentent spécifiquement la gamme de $\delta^{34}\text{S}$ la plus similaire à celle des individus humains. Étant donné que les sangliers sont des espèces non migratrices et reflètent les bases de références isotopiques locales, cette similitude suggère que la stratégie de subsistance humaine était également basée sur des ressources disponibles localement.

DISCUSSION

Régime alimentaire humain et subsistance : apports des assemblages fauniques

Les données archéozoologiques indiquent une augmentation marquée de l'abondance relative du sanglier (*Sus scrofa*) à partir de la fin du Préboréal, une tendance observée sur plusieurs sites du Bassin parisien. À Warluis IIIb et IIIa, le sanglier ne représente que 5 % des spécimens d'ongulés identifiés (NISP : 5 et 7, respectivement), mais cette proportion atteint 24 % (NISP : 29) aux Closeaux IV quelques siècles plus tard. Cette trajectoire culmine avec une représentation médiane de 75 % dans les contextes associés au Beuronien à segments. Cette proportion diminue à 65,5 % dans les assemblages plus tardifs du Boréal, caractérisés par des industries lithiques de la fin du Beuronien, comme à Saleux les Bacquets 295 (Bignon-Lau *et al.*, 2013), les Closeaux I (tabl. 4) et les *loci* 1 et 5 de Henry-Farman (Leduc *et al.*, 2013). Ce dernier est attribué à la seconde moitié du 8^e millénaire av. J.-C. (Souffi, 2023, p. 252 et suiv.). Ces résultats concordent avec ceux d'études antérieures, bien que plus limitées (Bridault, 1997 ; Ducrocq *et al.*, 2008 ; Coutard *et al.*, 2010 ; Leduc *et al.*, 2013). Plusieurs facteurs environnementaux et écologiques ont probablement favorisé l'expansion démographique des populations de sangliers. L'établissement de forêts tempérées caducifoliées dominées par le noisetier (*Corylus*), le développement d'habitats humides dans les fonds de vallée et un climat plus tempéré auraient offert des conditions optimales d'acquisition de nourriture et de reproduction pour cet omnivore opportuniste. Compte tenu de sa forte fécondité, le sanglier était probablement abondant et régulièrement disponible pour les groupes de chasseurs-cueilleurs tout au long du Boréal.

Despite its numerical dominance in faunal assemblages, the contribution of wild boar to human diet must be evaluated with caution. Taphonomic and contextual biases—such as the extent of excavation, duration of site occupation, site function, hunting frequency, and differential transport and processing—complicate direct inferences from NISP values. Zooarchaeological data indicate that hunters primarily targeted wild boar sounders composed of adult females and juveniles, which are more vulnerable and accessible. This is reflected in the prominence of juvenile and subadult remains within faunal spectra (Bridault, 1997; Coutard *et al.*, 2010; Bignon-Lau *et al.*, 2013; Leduc *et al.*, 2013, 2015; Paris *et al.*, 2022). In contrast, cervids, particularly red deer, tend to be represented by mature individuals in the studied assemblages (e.g., Hangest gravière II Nord, Saleux Vierge Catherine niveau inférieur, Henry-Farman Locus 1, les Closeaux), potentially offering higher individual meat yields. This demographic profile implies that the net protein return per hunted wild boar may have been lower than that for red deer, despite the former's greater abundance or higher probability of encounter. Thus, the predominance of wild boar in archaeofaunal assemblages may reflect their availability rather than human preference or actual dietary contribution.

Environment : insights from faunal stable isotopes

The $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of large herbivores depend on the types of plants (e.g. grasses versus leaves) they primarily consumed and the environment where the plants performed their photosynthesis (e.g. humidity conditions, closed vs open vegetation cover) (e.g. Högborg, 1997; Kohn, 2010). The consumption of leaves under a dense forest canopy is expected to lead to $\delta^{13}\text{C}$ values around or lower than -22‰ (Drucker *et al.*, 2008), which was observed for the red deer, the roe deer and one aurochs. Consumption of grasses in an open environment should lead to higher $\delta^{13}\text{C}$ values than -22‰ and relatively higher $\delta^{15}\text{N}$ values, which is the case for the wild boar from all sites and the aurochs from Henry-Farman. Wild boar from northern or eastern France do not seem to reflect substantial canopy effect during the forested phases of the early Holocene, which could be attributed to their fruits and tubers-based diet (Drucker *et al.*, 2018, 2020; Cucchi *et al.* 2023).

Interestingly, the aurochs from Henry-Farman is dated to the end of the Preboreal (Fig. 2; Table 2) during which canopy-lowered $\delta^{13}\text{C}$ values has been observed on deer rather than large bovids in the northern part of France (Drucker *et al.*, 2020). Higher $\delta^{15}\text{N}$ values may be expected in open landscape in comparison with forested areas due to higher volatilization of nitrogen (e.g. Högborg 1997) as observed on the high $\delta^{13}\text{C}$ value group. The $\delta^{15}\text{N}$ values above +5‰ observed on the red deer and roe deer from Warluis, two red deer from les Closeaux, one red deer and one aurochs from La Chaussée-Tirancourt classified in a forested habitat are thus intriguing. Higher

Malgré sa domination numérique dans les assemblages fauniques, la contribution du sanglier au régime alimentaire humain doit être évaluée avec prudence. Des biais taphonomiques et contextuels – tels que l'étendue des fouilles, la durée d'occupation des sites, la fonction des sites, la fréquence de la chasse, ainsi que le transport et le traitement différentiels – compliquent les inférences directes à partir des valeurs du nombre de restes déterminés. Les données archéozoologiques indiquent que les chasseurs ciblaient principalement des hardes de sangliers composées de femelles adultes et de juvéniles, plus vulnérables et accessibles. Cela se traduit par la prédominance de restes de juvéniles et de subadultes au sein des spectres fauniques (Bridault, 1997 ; Coutard *et al.*, 2010 ; Bignon-Lau *et al.*, 2013 ; Leduc *et al.*, 2013, 2015 ; Paris *et al.*, 2022). En revanche, les cervidés, en particulier le cerf élaphe, tendent à être représentés par des individus matures dans les assemblages étudiés (par exemple, Hangest gravière II Nord, Saleux Vierge Catherine niveau inférieur, Henry-Farman Locus 1, les Closeaux), offrant potentiellement des rendements carnés individuels plus élevés. Ce profil démographique implique que le retour protéique net par sanglier chassé pouvait être inférieur à celui du cerf élaphe, malgré l'abondance ou la probabilité de rencontre plus élevée du premier. Ainsi, la prédominance du sanglier dans les assemblages archéozoologiques pourrait refléter sa disponibilité plutôt qu'une préférence alimentaire humaine ou une contribution réelle au régime alimentaire.

Environnement : apports des isotopes stables de la faune

Les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des grands herbivores dépendent des types de plantes (par exemple, graminées vs feuilles) qu'ils consomment principalement et de l'environnement dans lequel les plantes réalisent leur photosynthèse (par exemple, conditions d'humidité, couvert végétal fermé vs ouvert) (Högberg, 1997 ; Kohn, 2010). La consommation de feuilles sous un dense couvert forestier devrait conduire à des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ autour de ou inférieures à -22 ‰ (Drucker *et al.*, 2008), comme observé pour les cerfs élaphe, les chevreuils et un aurochs. La consommation de graminées en milieu ouvert devrait entraîner des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ supérieures à -22 ‰ et des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ relativement plus élevées, ce qui est le cas pour les sangliers de tous les sites et l'aurochs de Henry-Farman. Les sangliers du nord ou de l'est de la France ne semblent pas refléter un effet de canopée substantiel durant les phases boisées du début de l'Holocène, ce qui pourrait s'expliquer par leur régime alimentaire basé sur les fruits et les tubercules (Drucker *et al.*, 2018, 2020 ; Cucchi *et al.*, 2023).

Il est intéressant de noter que l'aurochs de Henry-Farman est daté de la fin du Préboréal (fig. 2 ; tabl. 2), période durant laquelle des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ abaissées par l'effet de canopée ont été observées chez les cervidés plutôt que chez les grands bovidés dans la partie nord de la France (Drucker *et al.*, 2020). Des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ plus élevées

consumption of grasses over leaves could explain this contrast, and/or foraging on plants developing on soils differing in intensity of nitrogen cycling (e.g. Makarov, 2009). Different soil contexts may lead to different $\delta^{34}\text{S}$ ranges (Novák *et al.*, 2003), but our data on deer and aurochs dwelling in the forest are too limited to test this last hypothesis. Spatial contrast was found only for wild boar even if based on a limited number of samples.

Human diet and subsistence: insights from stable isotopes

The three groups of large herbivores, as previously described, were categorized as “HerbFL” (low $\delta^{13}\text{C}$ and low $\delta^{15}\text{N}$ values), “HerbFH” (low $\delta^{13}\text{C}$ and high $\delta^{15}\text{N}$ values) and “HerbOH” (high $\delta^{13}\text{C}$ and high $\delta^{15}\text{N}$ values) for estimating their respective contribution to human diet using a Bayesian approach. The MixSIAR model showed satisfactory convergence according to two robust diagnostics: for the Gelman–Rubin statistic, none of the 22 generated variables exceeded the threshold of 1.05; the Geweke z-scores indicated that none of the generated variables fell outside the ± 1.96 range in chains 1, 2, or 3 (Drucker, 2025).

Based on the MixSIAR model simulation (Fig. 5), the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of the adults from Étiolles, les Closeaux and Mareuil-lès Meaux indicate a limited consumption (less than 25% of the dietary protein) of red deer characterized by relatively low $\delta^{15}\text{N}$ values (the “HerbFL” group). In contrast, prey from the “HerbFH” - comprising forest-dwelling species with high $\delta^{15}\text{N}$ values, including red deer, roe deer and aurochs - contributed at least ca. 30% to the dietary protein of the individuals from Étiolles and les Closeaux, and more than 45% for the individual from Mareuil-lès-Meaux. For this latter specimen, the intake of prey with both high $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ prey primarily consisting of wild boar (the “HerbOH” group) was more restricted (not exceeding ca. 35%) and thus overlapping with the contribution of the “HerbFL” group consisting of low $\delta^{15}\text{N}$ red deer. In contrast, the “HerbOH” contributed to ca. 20 to 55% to the dietary protein intake of the individuals from Étiolles and les Closeaux, in an almost equal range as “HerbFH”. Interestingly, the individual from Mareuil-lès-Meaux, with a higher proportion of animal protein from forest-dwelling preys, is the most recent of all adults in chronological age (mid-Boreal), at a time when the forest ecosystems were firmly established and may have been an increasing reservoir of animal prey resources.

An enrichment of 2 to 3‰ in $\delta^{15}\text{N}$ values is expected between an exclusively breastfed child and its mother, due to the mimicking trophic effect of the child consuming protein produced by the nursing woman (Fogel *et al.*, 1989; Fuller *et al.*, 2006; Herrscher *et al.*, 2017). An average of 2.44 ± 0.90 ‰ enrichment in $\delta^{15}\text{N}$ values in breastfed children was calculated based on archaeological populations (Tsutaya and Yoneda, 2013), and the difference between the Verberie infant and the considered adults aligns with this evaluation. Similarly, carbon stable isotopes in bone collagen show an enrichment of up to ca.

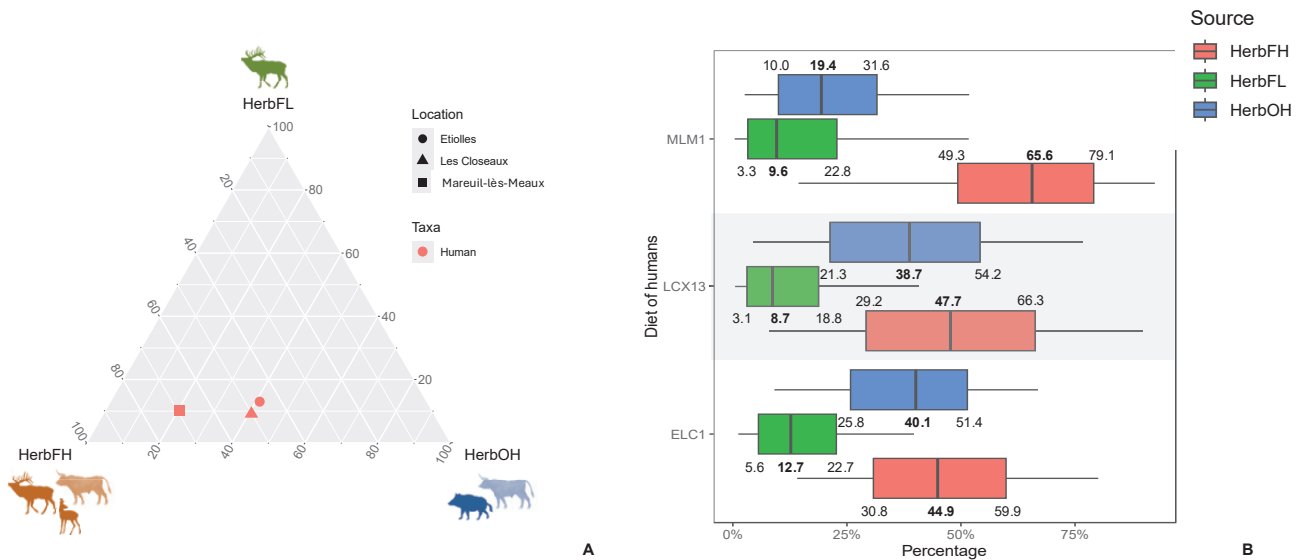


Fig. 5 – Résultats du modèle MixSIAR testant la contribution des groupes de proies « HerbFL » (valeurs faibles de $\delta^{13}\text{C}$ et de $\delta^{15}\text{N}$), « HerbFH » (valeurs faibles de $\delta^{13}\text{C}$ et élevées de $\delta^{15}\text{N}$), et « HerbOH » (valeurs élevées de $\delta^{13}\text{C}$ et de $\delta^{15}\text{N}$) à l'alimentation des individus humains d'Étiolles, les Closeaux et Mareuil-lès-Meaux, présentés sous forme de : A) un diagramme ternaire avec des points représentant les valeurs médianes de la composition alimentaire estimée pour chaque adulte, chaque axe indiquant la contribution relative des trois groupes alimentaires principaux, et B) diagrammes en boîte montrant la médiane (trait épais) et les quartiles (5 %, 25 %, 75 % et 95 %).

Fig. 5 – Results of MixSIAR model testing the contribution of the prey groups “HerbFL” (low $\delta^{13}\text{C}$ and low $\delta^{15}\text{N}$ values), “HerbFH” (low $\delta^{13}\text{C}$ and high $\delta^{15}\text{N}$ values) and “HerbOH” (high $\delta^{13}\text{C}$ and high $\delta^{15}\text{N}$ values) to the diet of the humans from Étiolles, les Closeaux and Mareuil-lès-Meaux reported as: A) a ternary plot with data points representing the median values of the estimated dietary composition of each human adult and each axis of the plot showing the relative contribution of the three main dietary groups, and B) boxplots showing the median value (thick line) and the quartiles (5%, 25%, 75% and 95%).

peuvent être attendues en milieu ouvert par rapport aux zones forestières en raison d'une volatilisation plus importante de l'azote (Högberg, 1997), comme observé dans le groupe à valeur de $\delta^{13}\text{C}$ élevée. Les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ supérieures à +5 ‰ observées chez les cerfs élaphe et les chevreuils de Warluis, deux cerfs élaphe des Closeaux, un cerf élaphe et un aurochs de La Chaussée-Tirancourt classés dans un habitat forestier sont donc intrigantes. Une consommation accrue de graminées par rapport aux feuilles pourrait expliquer ce contraste, et/ou un brouillage sur des plantes se développant sur des sols différant par l'intensité du cycle de l'azote (Makarov, 2009). Différents contextes pédologiques peuvent conduire à des gammes de $\delta^{34}\text{S}$ différentes (Novák *et al.*, 2003), mais nos données sur les cerfs et les aurochs vivant en forêt sont trop limitées pour tester cette dernière hypothèse. Un contraste spatial n'a été observé que pour les sangliers, bien que sur un nombre limité d'échantillons.

Régime alimentaire humain et subsistance : apports des isotopes stables

Les trois groupes de grands herbivores, précédemment décrits, ont été catégorisés en « HerbFL » (faibles valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$), « HerbFH » (faibles valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ et valeurs élevées de $\delta^{15}\text{N}$) et « HerbOH » (valeurs élevées de $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) pour estimer leur contribution respective au régime alimentaire humain à l'aide d'une approche bayésienne. Le modèle MixSIAR a montré

1‰ during the breastfeeding phase (Fuller *et al.*, 2006). The difference in $\delta^{13}\text{C}$ between Verberie and Étiolles and les Closeaux fits this expectation, while the adult from Mareuil-lès-Meaux exceed it by ca. 1‰ in isotopic spacing. Thus, the individual from Étiolles (gracile adult) and les Closeaux (gracile woman) exhibit similar isotopic values as those we could hypothesized for the mother of the infant from Verberie. These values could be related to an almost equal proportion of forest-dwelling (such as red deer and roe deer) and open-areas like prey (wild boar essentially) as source of dietary protein during the first part of the Boreal.

Previous comparable studies on Mesolithic individuals from northern France revealed different dietary protein origins during the older and more recent periods than this work. At Val-de-Reuil (“Les Varennes”, Eure) and La Chaussée-Tirancourt (“Le Petit Marais”, Somme), humans from early Mesolithic contexts (ca. 11,900-10,300 cal BP) delivered higher $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values than the individuals of this work, in a context of more open landscape (higher $\delta^{13}\text{C}$ baseline) and colder conditions (lower $\delta^{15}\text{N}$ baseline) (Drucker *et al.*, 2020). The contribution of aquatic resources could be suspected in the case of the early Mesolithic individuals, which would explain that the isotopic values of the humans do not reflect the chronological tendencies of the terrestrial fauna (Drucker *et al.*, 2020). During later periods of the Mesolithic (ca. 9,000-7,100 cal BP), the individuals from “Zac d'Alfort” (Maisons-Alfort, Val-de-Marne), Noyen-sur-Seine

une convergence satisfaisante selon deux diagnostics robustes : pour la statistique de Gelman-Rubin, aucune des 22 variables générées n'a dépassé le seuil de 1,05 ; les scores z de Geweke ont indiqué qu'aucune des variables générées ne sortait de la plage $\pm 1,96$ dans les chaînes 1, 2 ou 3 (Drucker, 2025).

Sur la base de la simulation du modèle MixSIAR (fig. 5), les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ des adultes d'Étiolles, des Closeaux et de Mareuil-lès-Meaux indiquent une consommation limitée (moins de 25 % des protéines alimentaires) de cerfs élaphe caractérisés par des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ relativement faibles (le groupe « HerbFL »). En revanche, les proies du groupe « HerbFH » – comprenant des espèces forestières à valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ élevées, telles que le cerf élaphe, le chevreuil et l'aurochs – ont contribué à au moins 30 % des protéines alimentaires consommées pour les individus d'Étiolles et des Closeaux, et à plus de 45 % pour l'individu de Mareuil-lès-Meaux. Pour ce dernier, l'apport de proies présentant à la fois des valeurs élevées de $\delta^{13}\text{C}$ et de $\delta^{15}\text{N}$, principalement des sangliers (le groupe « HerbOH »), était plus restreint (ne dépassant pas environ 35 %) et se chevauchait donc avec la contribution du groupe « HerbFL » composé de cerfs élaphe à faible $\delta^{15}\text{N}$. En revanche, le groupe « HerbOH » a contribué à environ 20 à 55 % de l'apport protéique des individus d'Étiolles et des Closeaux, dans une fourchette presque égale à celle du groupe « HerbFH ». Il est intéressant de noter que l'individu de Mareuil-lès-Meaux, avec une proportion plus élevée de protéines animales issues de proies forestières, est le plus récent de tous les adultes (Boréal moyen), daté d'une époque où les écosystèmes forestiers étaient fermement établis et pouvaient constituer un réservoir croissant de ressources animales.

Un enrichissement de 2 à 3 ‰ des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ est attendu entre un enfant exclusivement allaité et sa mère, en raison de l'effet trophique résultant de la consommation des protéines produites par la femme qui allaite (Fogel *et al.*, 1989 ; Fuller *et al.*, 2006 ; Herrscher *et al.*, 2017). Un enrichissement moyen de $2,44 \pm 0,90$ ‰ des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ chez les enfants allaités a été calculé à partir de populations archéologiques (Tsutaya et Yoneda, 2013), et la différence entre l'enfant de Verberie et les adultes considérés ici correspond à cette évaluation. De même, les isotopes stables du carbone du collagène osseux montrent un enrichissement allant jusqu'à environ 1 ‰ durant la phase d'allaitement (Fuller *et al.*, 2006). La différence de $\delta^{13}\text{C}$ entre Verberie et Étiolles ainsi que les Closeaux correspond à cette attente, tandis que l'adulte de Mareuil-lès-Meaux la dépasse d'environ 1 ‰ en termes d'espacement isotopique. Ainsi, les individus d'Étiolles (adulte gracile) et des Closeaux (femme gracile) présentent des valeurs isotopiques similaires à celles que l'on pourrait supposer pour la mère de l'enfant de Verberie. Ces valeurs pourraient être liées à une proportion presque égale de proies forestières (comme le cerf élaphe et le chevreuil) et de proies de milieux ouverts (principalement le sanglier) comme source de protéines alimentaires durant la première partie du Boréal.

(“Haut-des-Nachères”, Seine-et-Marne), Cuiry-lès-Chaudardes (“les Fontinettes”, Aisne) and Berry-au-Bac (“le Vieux Tordoir”, Aisne) show comparable $\delta^{13}\text{C}$ values as the studied individuals here, but higher $\delta^{15}\text{N}$ (Drucker *et al.* 2018). Evidence of fish consumption, based on both stable isotopes and archaeological evidence at Noyen-sur-Seine (Mordant *et al.*, 2013; Drucker *et al.*, 2018), explain again such a difference, while the terrestrial isotopic baseline is basically unchanged during the early Atlantic compared with the Boreal. The individuals presented here appear the most convincing example of humans from northern France during the Mesolithic for which no substantial aquatic resources can be evoked in their long-term diet. With only one pike vertebra, the site of les Closeaux reflects a relatively common situation, particularly in the valleys of northern France. A review of Mesolithic finds in France indicates that fish remains are not systematically present - even when mammalian fauna are well preserved and sediments have been thoroughly sieved - and evidence of freshwater fishing appears at only a small number of Mesolithic sites (Bridault *et al.*, 2022). Among the terrestrial preys consumed, wild boar consistently emerges as a prevalent source of protein from the Preboreal to the early Atlantic periods based on isotopic data (Drucker *et al.*, 2018, 2020). Notable exceptions are observed in this study and at Maisons-Alfort (Drucker *et al.*, 2018), where deer and aurochs from forested habitats appear to have contributed equally to, or even more than, wild boar to the human diet.

Other examples of terrestrial-based diet during the end of the Preboreal and the Boreal in northwest Europe (10,400-9000 cal PB) are attested by two individuals from Friesack 4 in northern Germany ($\delta^{15}\text{N}$ values of +8.0 and +8.5‰; Meadows *et al.*, 2018; Table 6) where the associated fauna is 1 to 2‰ lower on average in $\delta^{15}\text{N}$ values than the large herbivores consumed in the northern France context. Interestingly, individuals from the same site from an earlier phase of the Mesolithic show some freshwater resource consumption reflected by lower $\delta^{13}\text{C}$ and higher $\delta^{15}\text{N}$ values, leading Meadows *et al.* (2008) to suggest a transition toward more terrestrial-based diet around the Preboreal to Boreal transition. Despite the lack of data on coeval fauna, a predominantly terrestrial diet is proposed for the early Mesolithic humans of La Vergne in southwestern France (Schulting *et al.*, 2008) and in the region of Somerset in southwestern England (Schulting *et al.*, 2019), with $\delta^{13}\text{C}$ values generally higher than -21‰ and $\delta^{15}\text{N}$ values between ca. +7‰ and +11‰ (Table 6). In Belgium, early Mesolithic individuals contrasted from their middle Neolithic counterparts with a high terrestrial intake, reflected by the expected ^{15}N enrichment compared with their coeval fauna, even if freshwater resources could not be entirely excluded (Bocherens *et al.*, 2007; Table 5). In contrast, the Mesolithic humans from southern North Sea, dated between 9200 and 8500 uncal BP, show a large consumption of aquatic resources, mainly from freshwater ecosystem for $\delta^{13}\text{C}$ values lower than -19‰ and $\delta^{15}\text{N}$ values equal or higher than +10‰, with few exceptions (van der Plicht *et al.*, 2016; Table 5).

Country	Site	Lab ID	Element	C (%)	N (%)	C:N	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	Age ^{14}C	SD ^{14}C	Ref ^{14}C	Source ^{14}C	Source $^{13}\text{C}^{15}\text{N}$
Germany	Friesack 4	AAR-16183	Cranium, adult	25.9	9.2	3.3	-23.3	11.2	9294	39	AAR-16183	8	10
Germany	Friesack 4	KIA-51291	ulna, child ca. 1-2 yrs	38.8	13.7	3.3	-20.9	8.5	9099	55	KIA-51291	10	10
Germany	Friesack 4	KIA-51300	long bone	39.4	14.0	3.3	-20.5	8.0	8291	45	KIA-51300	10	10
France	La Vergne	VRG700	femur L, adult	38.3	14.5	3.1	-19.1	9.6	9075	65	OxA-6698	6	6
France	La Vergne	VRG1000	ulna L, adult	38.4	14.8	3.0	-20.2	7.4	9070	70	OxA-6699	6	6
France	La Vergne	VRG1300	tibia R, adult, male	36.4	13.4	3.2	-20.2	9.0	9215	65	OxA-6700	6	6
Great Britain	Aveline's Hole	M1.14.55	tibia, male (DNA)	ng	ng	3.2	-19.3	9.2	9230	50	OxA-34339	11	11
Great Britain	Aveline's Hole	M1.11.111	temporal R	ng	ng	3.2	-19.6	8.2	9220	40	OxA-35053	11	11
Great Britain	Aveline's Hole	M1.11.141	petrous L	ng	ng	3.2	-19.9	8.8	9185	45	OxA-35925	11	11
Great Britain	Aveline's Hole	M1.11.141B	temporal R	ng	ng	3.2	-19.1	9.8	9145	45	OxA-34972	11	11
Great Britain	Aveline's Hole	M1.11.2	temporal R	ng	ng	3.2	-18.3	10.7	9125	45	OxA-34971	11	11
Great Britain	Aveline's Hole	M1.14/99	ulnal L	ng	ng	3.5	-20.0	9.0	9210	70	GrA-22558	4	11
Great Britain	Aveline's Hole	M1.13/118	ulnal L	ng	ng	3.0	-19.3	9.2	9200	50	GrA-22552	4	11
Great Britain	Aveline's Hole	M1.13/301	ulnal L	ng	ng	3.4	-20.0	7.7	9170	50	GrA-22548	4	11
Great Britain	Aveline's Hole	M1.13/163	ulnal L	ng	ng	3.4	-19.9	8.4	9155	45	GrA-22432	4	11
Great Britain	Aveline's Hole	M1.13/302	ulnal L	ng	ng	3.0	-19.0	10.3	9130	60	GrA-22621	4	11
Great Britain	Aveline's Hole	M1.13/172	ulnal L	ng	ng	3.4	-19.8	8.1	9120	50	GrA-22557	4	11
Great Britain	Aveline's Hole	M1.13/160	ulnal L	ng	ng	3.4	-19.5	8.8	9100	45	GrA-22429	4	11
Great Britain	Aveline's Hole	M1.13/152	ulnal L	ng	ng	3.3	-19.3	9.0	9095	45	GrA-22422	4	11
Great Britain	Aveline's Hole	M1.13/164	ulnal L	ng	ng	3.4	-19.1	8.2	9090	45	GrA-22433	4	11
Great Britain	Aveline's Hole	M1.13/154	ulnal L	ng	ng	3.5	-19.6	9.3	9075	45	GrA-22428	4	11
Great Britain	Aveline's Hole	M1.13/166	ulnal L	ng	ng	3.1	-21.0	8.5	9060	50	GrA-22546	4	11
Great Britain	Aveline's Hole	M1.13/159	ulnal L	ng	ng	3.3	-19.3	8.4	9020	50	GrA-22555	4	11
Great Britain	Aveline's Hole	M1.13/329	ulnal L	ng	ng	3.3	-19.4	8.7	8960	50	GrA-22938	4	11
Great Britain	Aveline's Hole	M1.13/161	ulnal L	ng	ng	3.4	-19.4	9.0	8925	45	GrA-22431	4	11
Great Britain	Greylake	E22	skull, adult	ng	ng	3.4	-19.3	8.7	9118	37	Wk-30930	7	11
Great Britain	Greylake	E23	skull, adult	ng	ng	3.3	-19.3	9.2	9134	37	Wk-30931	7	11
Great Britain	Greylake	D22/23?	mandible, adult	ng	ng	3.2	-19.1	9.1	9170	40	OxA-25666	7	11
Great Britain	Badger Hole	BH1	mandible, child ca. 9 yrs	ng	ng	3.5	-20.3	8.5	9060	130	OxA-679	1	11
Great Britain	Cannington Park Quarry	CPQ64-1		ng	ng	3.3	-19.2	8.7	9225	23	SU-ERC-84330	11	11
Great Britain	Cannington Park Quarry	CAN65-2	femur	ng	ng	3.4	-19.7	8.6	8925	21	SU-ERC-84331	11	11
Belgium	Petit Ri Malonne	BM-65	Skull, adult	41.7	15.0	3.2	-20.4	9.5	9270	90	OxA-5042	2	5
Belgium	Grotte Lombeau	MT2300	mandible, child	42.6	15.6	3.2	-20.6	10.1	9015	80	OxA-6445	3	5
Netherlands	Eurogeul	GrA-50459	femur	35.4	13.1	3.2	-22.8	10.0	9220	60	GrA-50459	9	9
Netherlands	Maasvlakte	GrA-62470	cranium	42.7	16.2	3.1	-23	10.3	9180	50	GrA-62470	9	9
Netherlands	SW Brown	GrA-27188	humerus	36.4	15.4	2.8	-23.1	10.2	9140	50	GrA-27188	9	9

Tabl. 7 – Résultats de l'analyse des isotopes stables du collagène ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) d'ossements humains directement datés et originaires du nord-ouest de l'Europe. La composition en carbone et en azote du collagène est exprimée en teneurs élémentaires (C, N) et/ou en rapports atomiques (C:N). Les individus représentés par une dent ou dates en combinant plusieurs os ont été exclus. L indique le côté gauche et R le côté droit, ng indique que les données n'ont pas été fournies : 1, Burleigh, 1986; 2, Jadin and Carpentier, 1994; 3, Toussaint, 1999; 4, Schulting *et al.*, 2005; 5, Bocherens *et al.*, 2007; 6, Schulting *et al.*, 2008; 7, Brunning *et al.*, 2013; 8, Ullrich and Gramsch, 2015; 9, van der Plicht *et al.*, 2016; 10, Meadows *et al.*, 2018; 11, Schulting *et al.*, 2019.

Table 7 – Results of stable isotope analysis of collagen ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) from directly dated human bones from inland context in northwestern Europe. The carbon and nitrogen composition of the collagen is reported as elemental contents (C, N) and/or atomic ratios (C:N). Individuals represented by a tooth or dated based on several combined bones were excluded. L stands for left and R for right, ng stands for not given. 1, Burleigh, 1986; 2, Jadin and Carpentier, 1994; 3, Toussaint, 1999; 4, Schulting *et al.*, 2005; 5, Bocherens *et al.*, 2007; 6, Schulting *et al.*, 2008; 7, Brunning *et al.*, 2013; 8, Ullrich and Gramsch, 2015; 9, van der Plicht *et al.*, 2016; 10, Meadows *et al.*, 2018; 11, Schulting *et al.*, 2019.

Country	Site	Lab ID	Element	C (%)	N (%)	C:N	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	Age ^{14}C	SD ^{14}C	Ref ^{14}C	Source ^{14}C	Source $^{13}\text{C}^{15}\text{N}$
Netherlands	Eurogeul	GrA-62225	humerus	40.4	15	3.1	-13.4	14.1	8945	45	GrA-62225	9	9
Netherlands	North Sea	GrA-51669	bone	43.7	15.7	3.2	-22.1	9.4	8910	40	GrA-51669	9	9
Netherlands	North Sea	GrA-49637	bone	44.1	13.9	3.7	-22.5	9.3	8820	50	GrA-49637	9	9
Netherlands	Zandmotor	GrA-67124	cranium	44.0	16.1	3.2	-23.6	12.4	8680	45	GrA-67124	9	9
Netherlands	SW Brown	GrA-45801	femur	43.6	15.3	3.3	-16.5	15.7	8665	45	GrA-45801	9	9
Netherlands	Eurogeul	GrA-54734	femur	46.3	15	3.6	-23.9	12.4	8660	50	GrA-54734	9	9
Netherlands	North Sea	GrA-54735	femur	43.1	15.6	3.2	-16.7	13.8	8660	50	GrA-54735	9	9
Netherlands	Zuid-Holland	GrA-57501	cranium	37.3	14	3.1	-23.5	12.7	8565	45	GrA-57501	9	9
Netherlands	Eurogeul	GrA-54733	femur	43.0	15.4	3.3	-24.1	12.4	8560	50	GrA-54733	9	9
Netherlands	Slijtgeul	GrA-65508	maxilla	30.5	11.2	3.2	-19.8	12.9	8560	50	GrA-65508	9	9

Tabl. 7 (suite et fin).

Table 7 (continuation and end).

Des études antérieures et comparables sur des individus mésolithiques du nord de la France ont révélé des origines différentes des protéines alimentaires durant les périodes plus anciennes et plus récentes que celle étudiée ici. À Val-de-Reuil (« Les Varennes », Eure) et à La Chaussée-Tirancourt (« Le Petit Marais », Somme), les humains des contextes mésolithiques anciens (vers 11 900-10 300 cal BP) présentent des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ plus élevées que les individus de cette étude, dans un contexte de paysage plus ouvert (base de référence de $\delta^{13}\text{C}$ plus haute) et de conditions plus froides (base de référence de $\delta^{15}\text{N}$ plus basse) (Drucker *et al.*, 2020). La contribution de ressources aquatiques pourrait être suspectée dans le cas des individus du Mésolithique ancien, ce qui expliquerait que les valeurs isotopiques des humains ne reflètent pas les tendances chronologiques de la faune terrestre (Drucker *et al.*, 2020). Durant les périodes ultérieures du Mésolithique (vers 9 000-7 100 cal BP), les individus de « Zac d’Alfort » (Maisons-Alfort, Val-de-Marne), Noyen-sur-Seine (« Haut-des-Nachères », Seine-et-Marne), Cuiry-lès-Chaudardes (« les Fontinettes », Aisne) et Berry-aubac (« le Vieux Tordoir », Aisne) présentent des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ comparables à celles des individus étudiés ici, mais des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ plus élevées (Drucker *et al.*, 2018). Des preuves de consommation de poisson, basées à la fois sur les isotopes stables et les données archéologiques à Noyen-sur-Seine (Mordant *et al.*, 2013 ; Drucker *et al.*, 2018), expliquent à nouveau une telle différence, tandis que la base de référence isotopique terrestre est fondamentalement inchangée durant l’Atlantique ancien par rapport au Boréal. Les individus présentés ici constituent l’exemple le plus convaincant d’humains du nord de la France au Mésolithique pour lesquelles aucune consommation substantielle de ressources aquatiques ne peut être évoquée. Avec une seule vertèbre de brochet, le site des Closeaux reflète une situation relativement courante, en particulier dans les vallées du nord de la France. Une analyse des découvertes mésolithiques en France indique que les restes de poissons d’eau douce ne sont pas systématiquement présents – même lorsque la faune mammalienne est bien conservée et que les sédiments ont été tamisés

CONCLUSION

This study offers new insights into the subsistence strategies of Mesolithic populations in the Paris Basin during the terminal Preboreal and Boreal periods (10,300–9,000 cal BP), based on integrated zooarchaeological and stable isotope data from both human and faunal remains.

Zooarchaeological evidence demonstrates a marked increase in the abundance of wild boar (*Sus scrofa*) from the end of the Preboreal onwards, culminating in its taxonomic dominance across a range of contexts. This trend likely reflects both ecological shifts—including forest maturation and the proliferation of hazel—and the species’ high reproductive potential in temperate woodland environments. However, stable isotope models reveal that wild boar—despite its abundance—did not consistently dominate the protein intake of human groups. Instead, dietary models indicate a mixed reliance on forest-adapted species, including red deer, roe deer, and aurochs, suggesting the selective exploitation of prey species within a structurally diverse forest ecosystem. This demonstrates that shifts in vegetation and faunal demography directly influenced human dietary strategies, but that these influences were mediated by cultural choices, technological systems, and hunting logistics.

In parallel with several Mesolithic inland contexts in northern and western Europe, the individuals examined here show no isotopic evidence for substantial consumption of aquatic resources. Their stable isotope values ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{34}\text{S}$) indicate an overwhelmingly terrestrial protein intake, standing in sharp contrast to contemporaneous populations around the southern North Sea (e.g., Doggerland), where $\delta^{15}\text{N}$ values are consistently elevated due to trophic enrichment from aquatic resources. A more systematic reliance on terrestrial resources, particularly those derived from forested habitats, during the Preboreal to Boreal transition in the Paris Basin, if further confirmed, would reflect an active adaptation to transforming landscapes through subsistence strategies.

minutieusement – et que les témoignages de pêche en eau douce n'apparaissent que sur un petit nombre de sites (Bridault *et al.*, 2022). Parmi les proies terrestres consommées, le sanglier apparaît systématiquement comme une source majeure de protéines, du Préboréal à l'Atlantique ancien, sur la base des données isotopiques (Drucker *et al.*, 2018, 2020). Des exceptions notables sont observées dans cette étude ainsi qu'à Maisons-Alfort (Drucker *et al.*, 2018), où les cerfs et les aurochs d'habitats forestiers semblent avoir contribué autant que, voire davantage, que le sanglier au régime alimentaire humain.

D'autres exemples de régimes alimentaires terrestres à la fin du Préboréal et au Boréal en Europe du Nord-Ouest (10 400-9 000 cal BP) sont attestés par deux individus de Friesack 4, dans le nord de l'Allemagne (valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ de +8,0 et +8,5 ‰ ; Meadows *et al.*, 2018 ; tabl. 7), où la faune associée présente des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ inférieures de 1 à 2 ‰ en moyenne par rapport aux grands herbivores consommés dans le contexte de la France septentrionale. Il est intéressant de noter que des individus du même site, issus d'une phase antérieure du Mésolithique, présentent une consommation de ressources dulçaquicoles, reflétée par des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ plus basses et de $\delta^{15}\text{N}$ plus élevées, conduisant Meadows *et al.* (2008) à suggérer une transition vers un régime alimentaire davantage axé sur les ressources terrestres autour de la transition Préboréal-Boréal. Malgré l'absence de données sur la faune contemporaine, un régime alimentaire principalement terrestre est proposé pour les humains du Mésolithique ancien de La Vergne, dans le sud-ouest de la France (Schulting *et al.*, 2008), et dans la région du Somerset, dans le sud-ouest de l'Angleterre (Schulting *et al.*, 2019), avec des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ généralement supérieures à -21 ‰ et des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ comprises entre environ +7 ‰ et +11 ‰ (tabl. 7). En Belgique, les individus du Mésolithique ancien se distinguent de leurs homologues du Néolithique moyen par une consommation élevée de ressources terrestres, reflétée par l'enrichissement attendu en ^{15}N par rapport à leur faune contemporaine, bien que les ressources dulçaquicoles n'aient pas pu être entièrement exclues (Bocherens *et al.*, 2007 ; tabl. 7). En revanche, les humains mésolithiques du sud de la mer du Nord, datés entre 9 200 et 8 500 BP non calibrés, montrent une consommation importante de ressources aquatiques, principalement issues d'écosystèmes dulçaquicoles, avec des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ inférieures à -19 ‰ et des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ égales ou supérieures à +10 ‰, avec quelques exceptions (van der Plicht *et al.*, 2016 ; tabl. 7).

CONCLUSION

Cette étude apporte un éclairage nouveau sur les stratégies de subsistance des populations mésolithiques du Bassin parisien durant les périodes les plus récentes du Préboréal et du Boréal (10 300-9 000 cal BP), en s'appuyant sur des données archéozoologiques et isotopiques, issues à la fois de restes humains et fauniques.

Acknowledgments. We are grateful to the PCR “Du dernier maximum glaciaire à l'optimum climatique dans le Bassin parisien et ses marges – Habitats, sociétés et environnements” (From the Last Glacier Maximum to the Climate optimum in the Paris Basin and its surroundings – Habitats, societies, and environment; B. Valentin, S. Griselin, L. Mevel) for their sustained administrative and scientific support, which made the completion of this study possible. This research was financially supported by the CNRS PEVS “Anthroposystèmes montagnards” program (coord. Hervé Bocherens, PL97-42), the CNRS ECLIPSE “Cervus” program (coord. Anne Bridault, 0693), the French Institute of Biodiversity program “Global Change, animal biodiversity and human societies in the northern half of France since 16,000 years” (coord. A. Bridault, 0403), and the INRAP PAS project (coord. T. Ducrocq, R110068). We thank Chris Baumann (Senckenberg HEP, University of Tübingen) for his assistance with the MixSIAR model, Irka Hajdas (ETH, Zürich) for her support with radiocarbon dating, and Richard Cottiaux (INRAP, UMR 8215) for his collaborative feedback. We are also grateful to Issam Moussa (ISEM, University of Montpellier), and Bernd Steinhilber, (Geoscience Department, University of Tübingen) for their technical support with the isotopic measurements.

Les données archéozoologiques témoignent d'une augmentation marquée de l'abondance du sanglier (*Sus scrofa*) à partir de la fin du Préboréal, aboutissant à sa prédominance taxonomique dans une variété de contextes. Cette tendance reflète probablement à la fois des changements écologiques – notamment la maturation des forêts et la prolifération du noisetier – et le potentiel reproductif élevé de cette espèce dans les milieux boisés tempérés. Cependant, les modèles isotopiques révèlent que le sanglier, malgré son abondance, n'a pas systématiquement dominé l'apport protéique des groupes humains. Au contraire, les modèles alimentaires indiquent une dépendance mixte à l'égard d'espèces adaptées aux forêts, incluant le cerf élaphe, le chevreuil et l'aurochs, suggérant une exploitation sélective des espèces de proies au sein d'un écosystème forestier structurellement diversifié. Cela démontre que les changements de végétation et de démographie faunique ont directement influencé les stratégies alimentaires humaines, mais que ces influences ont été modulées par des choix culturels, des systèmes technologiques et l'organisation de la chasse.

Dans le sillage d'autres contextes mésolithiques continentaux d'Europe du Nord et de l'Ouest, les individus examinés ici ne présentent aucune preuve isotopique d'une consommation substantielle de ressources aquatiques. Leurs valeurs isotopiques stables ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{34}\text{S}$) indiquent un apport protéique quasi exclusivement terrestre, en net contraste avec les populations contemporaines des environs de la mer du Nord méridionale (par exemple, le Doggerland), où les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ sont

systématiquement élevées en raison de l'enrichissement trophique lié aux ressources aquatiques. Une dépendance plus systématique aux ressources terrestres, en particulier celles issues des habitats forestiers, durant la transition Préboréal-Boréal dans le Bassin parisien, si elle est confirmée, refléterait une adaptation active aux paysages en transformation par le biais des stratégies de subsistance.

Remerciements. Nous remercions le PCR « Du dernier maximum glaciaire à l'optimum climatique dans le Bassin parisien et ses marges : habitats, sociétés et environnements » (B. Valentin, S. Griselin, L. Mevel) pour leur soutien administratif et scientifique continu, qui a rendu possible la réalisation de cette étude. Ces recherches ont bénéficié du soutien financier du programme CNRS PEVS « Anthroposystèmes montagnards » (coord. Hervé Bocherens, PL97-42), du programme CNRS ECLIPSE « Cervus » (coord. Anne Bridault, 0693), du programme « Changement global, biodiversité animale et sociétés humaines dans la moitié nord de la France depuis 16 000 ans » de l'Institut français de la biodiversité (coord. A. Bridault, 0403), et du projet INRAP PAS (coord. T. Ducrocq, R110068). Nous adressons nos remerciements à Chris Baumann (Senckenberg HEP, Université de Tübingen) pour son assistance avec le modèle MixSIAR, à Irka Hajdas (ETH, Zürich) pour son soutien dans les datations radiocarbones, et à Richard Cottiaux (Inrap, UMR 8215) pour ses retours collaboratifs. Nous sommes également reconnaissants à Issam Moussa (ISEM, Université de Montpellier), et Bernd Steinhilber (Département des Géosciences, Université de Tübingen) pour leur soutien technique lors des mesures isotopiques.

DONNÉES SUPPLÉMENTAIRES / SUPPLEMENTARY DATA

Annexe I – Âges radiocarbonate calibrés (cal BP, 2 sigma) pour les échantillons humains datés provenant des Closeaux (LCX), Mareuil-lès-Meaux (MLM), Verberie (VRB) et Étiolles (ELC), obtenus avec OxCal v.4.4 selon la courbe de calibration IntCal20 (Reimer *et al.*, 2020) (les dates en gras proviennent de cette étude) / *Calibrated radiocarbon ages (cal BP, 2-sigma) for the dated human samples from les Closeaux (LCX), Mareuil-lès-Meaux (MLM), Verberie (VRB), and Etiolles (ELC), using OxCal v.4.4 according to the IntCal20 calibration dataset (Reimer et al., 2020) (dates in bold are from this study).*

DOI : <https://doi.org/10.5281/zenodo.17506713>

Annexe II – Espaces isotopiques basés sur les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du collagène osseux des adultes humains et des ongulés, regroupés en trois types de proies : « HerbFL » ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ faibles), « HerbFH » ($\delta^{13}\text{C}$ faible et $\delta^{15}\text{N}$ élevé), et « HerbOH » ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ élevés). Les pointillés délimitent l'aire isotopique globale et les ellipses représentent les aires isotopiques centrales occupées par les groupes de proies et d'humains / *Isospaces based on the bone collagen $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of the human adults and the ungulates divided in prey groups "HerbFL" (low $\delta^{13}\text{C}$ and low $\delta^{15}\text{N}$ values), "HerbFH" (low $\delta^{13}\text{C}$ and high $\delta^{15}\text{N}$ values) and "HerbOH" (high $\delta^{13}\text{C}$ and high $\delta^{15}\text{N}$ values). The dashed lines show the isotopic area and the ellipses the core isotopic areas occupied by prey and human groups.*

DOI : <https://doi.org/10.5281/zenodo.17506713>

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES BIBLIOGRAPHICAL REFERENCES

- AMBROSE S.H. (1990) – Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis, *Journal of Archaeological Science*, 17, 4, p. 431-451.
- AUDOUZE F. (1978) – Les fouilles au Buisson Campin (Verberie, Oise), *Revue archéologique de Picardie*, 13, 1, p. 55-56.
- AUDOUZE F., DRUCKER D.G., VALENTIN F. (2009) – Nouvelles données chronologiques, biologiques et alimentaires sur l'enfant mésolithique de Verberie-Le Buisson Campin (Oise), *Bulletins et mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 21, 1-2, p. 5-18.
- BIGNON-LAU O., COUDRET P., FAGNART J.-P., SOUFFI B. (2013) – Données préliminaires sur l'organisation spatiale des vestiges mésolithiques du locus 295 du gisement de Saleux (Somme) : l'apport de la faune, in B. Valentin, B. Souffi, T. Ducrocq, J.-P. Fagnart, F. Séara, C. Verjux (dir.), *Palethnographie du Mésolithique. Recherches sur les habitats de plein air entre Loire et Neckar, Actes de la Table ronde internationale de Paris, 2010*, Paris, Société préhistorique française, p. 167-187.
- BOCHERENS H. (2009) – Neanderthal dietary habits: review of the isotopic evidence, in J.-J. Hublin and M. Richards (dir.), *The evolution of hominin diets: integrating approaches to the study of Palaeolithic subsistence*, Berlin, Springer (coll. Vertebrate Paleobiology and Paleoanthropology Series), p. 241-250.
- BOCHERENS H., DRUCKER D. (2003) – Trophic level isotopic enrichment of carbon and nitrogen in bone collagen: case studies from recent and ancient terrestrial ecosystems, *International Journal of Osteoarchaeology*, 13, 1-2, p. 46-53.
- BOCHERENS H., DRUCKER D., BILLIQU D., MOUSSA I. (2005) – A new approach for assessing the preservation state of bone and collagen for isotopic analysis (radiocarbon dating, carbon and nitrogen stable isotopes), *Anthropologie*, 109, 3, p. 557-567.
- BOCHERENS H., POLET C., TOUSSAINT M. (2007) – Palaeodiet of Mesolithic and Neolithic populations of Meuse Basin (Belgium): evidence from stable isotopes, *Journal of Archaeological Science*, 34, 1, p. 10-27.
- BOCHERENS H., DRUCKER D.G., GERMONPRÉ M., LÁZNÍČKOVÁ-GALETOVÁ M., NAITO Y.I., WISSING C., BRŮŽEK J., OLIVA M. (2015) – Reconstruction of the Gravettian foodweb at Předmostí I using multi-isotopic tracking (^{13}C , ^{15}N , ^{34}S) of bone collagen, *Quaternary International*, 359, p. 211-228.
- BOSSET G. (2010) – La sépulture mésolithique d'Étiolles-les-Coudray (Essonne) : résultats préliminaires, in B. Valentin (dir.), *Paléolithique final et Mésolithique dans le Bassin parisien et ses marges. Habitats, sociétés et environnements*, rapport de projet collectif de recherche, Orléans-Nanterre, Service régional de l'archéologie-UMR 7041, p. 281-288.
- BOSSET G., VALENTIN F. (2013) – Pratiques sépulcrales mésolithiques de la moitié nord de la France: le cas des sépultures isolées et leur intégration dans l'espace, in B. Valentin, B. Souffi, T. Ducrocq, J.-P. Fagnart, F. Séara and C. Verjux (dir.), *Palethnographie du Mésolithique. Recherches sur les habitats de plein air entre Loire et Neckar, Actes de la Table ronde internationale de Paris, 2010*, Paris, Société préhistorique française, p. 207-216.
- BRIDAULT A. (1997) – Chasseurs, ressources animales et milieux dans le nord de la France de la fin du Paléolithique à la fin du Mésolithique : problématique et état de la recherche, in J.-P. Fagnart and A. Thévenin (dir.), *Le Tardiglaciaire en Europe du Nord-Ouest, Actes du 119^e Congrès national des sociétés historiques et scientifiques (Amiens, 1994)*, Paris Pré- et Protohistoire, C.T.H.S., p. 165-176.
- BRIDAULT A., BINOIS-ROMAN A., FRONTIN D., CUPILLARD C., PETIT C. (2022) – Mesolithic Freshwater Fishing: A Zooarchaeological Case Study, *Open Archaeology*, 8, p. 739-764.
- BRUNNING R. (2013) – An Early Mesolithic cemetery at Greylake, Somerset, UK. *Archaeology in the Severn Estuary*, 22, p. 67-70.
- BURLEIGH R. (1986) – Radiocarbon dates for human and animal bones from Mendip caves, *Proceedings of the University of Bristol Spelaeological Society*, 17, 3, p. 267-274.
- COTTIAUX R., LAWRENCE-DUBOVAC P., DURAND S., DELATTRE V. (2001) – Les occupations néolithiques et protohistoriques du site de Mareuil-lès-Meaux « les Vignolles » (77), résultats préliminaires, *Actualité archéologique régionale d'Ile-de-France*. Actes des journées archéologiques d'Ile-de-France, p. 60-63.
- COUTARD S., DUCROCQ T., LIMONDIN-LOZOUET N., BRIDAULT A., LEROYER C., ALLENET G., PASTRE J.-F. (2010) – Contexte géomorphologique, chronostratigraphique et paléoenvironnemental des sites mésolithiques et paléolithiques de Warluis dans la vallée du Thérain (Oise, France), *Quaternaire. Revue de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, 21, 4, p. 357-384.
- CRAIG O.E., ROSS R., ANDERSEN S.H., MILNER N., BAILEY G.N. (2006) – Focus: sulphur isotope variation in archaeological marine fauna from northern Europe, *Journal of Archaeological Science*, 33, 11, p. 1642-1646.
- CROMBÉ P., ROBINSON E. (2014) – European Mesolithic: geography and culture, *Encyclopedia of Global Archaeology*, New York, Springer, p. 2623-2645.
- CUCCHI T., HARBERS H., NEAUX D., BALASSE M., GARBÉ L., FIORILLO D., BOCHERENS H., DRUCKER D., ZANOLLI C., CORNETTE R., ARBOGAST R.M., BREHARD S., BRIDAULT A., GOURICHON L., GUILAINE J., MANEN C., PERRIN T., SHAFBERG R., TRESSET A., VIGNE J.-D., HERREL A. (2023) – 4500 years of morphological diversification in Western Europe wild boars (*Sus scrofa*) and the consequences of the Neolithic transition, *Quaternary Science Reviews*, 309, p. 108100.
- DAVIS B.A., BREWER, S., STEVENSON, A.C., GUIOT, J. and data contributors (2003) – The temperature of Europe during the Holocene reconstructed from pollen data, *Quaternary Science Reviews*, 22, 15-17, p. 1701-1716.
- DENIRO M.J. (1985) – Postmortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction, *Nature*, 31, 6040, p. 806-809.

- DRUCKER D.G., BRIDAULT A., HOBSON K.A., SZUMA E., BOCHERENS H. (2008) – Can carbon-13 in large herbivores reflect the canopy effect in temperate and boreal ecosystems? Evidence from modern and ancient ungulates, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 266, 1-2, p. 69-82.
- DRUCKER D.G., VALENTIN F., THEVENET C., MORDANT D., COTTIAUX R., DELSATE D., VAN NEER W. (2018) – Aquatic resources in human diet in the Late Mesolithic in Northern France and Luxembourg: insights from carbon, nitrogen and sulphur isotope ratios, *Archaeological and Anthropological Sciences*, 10, p. 351-368.
- DRUCKER D.G., BRIDAULT A., DUCROCQ T., BAUMANN C., VALENTIN F. (2020) – Environment and human subsistence in Northern France at the Late Glacial to early Holocene transition, *Archaeological and Anthropological Sciences*, 12, p. 1-16.
- DRUCKER D. (2025) – Stable isotope analysis (carbon-13, nitrogen-15, sulfur-34) of Mesolithic human and faunal remains from the Paris Basin, Île-de-France region (10.3-9.0 ka): MixSIAR data and script. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17506713>
- DUCROCQ T. (2009) – Éléments de chronologie absolue du Mésolithique dans le Nord de la France, in P. Crombé, M. Van Strydonck, S. Sergeant, M. Boudin, M. Bats (dir.), *Chronology and evolution within the Mesolithic of North-West Europe*, Newcastle, Cambridge Scholars Publishing, p. 345-362.
- DUCROCQ T. (2013) – Le Beuronien à segments dans le Nord de la France. Prémices d'une approche palethnologique, in B. Valentin, B. Souffi, T. Ducrocq, J.-P. Fagnart, F. Séara, C. Verjux C. (dir.), *Palethnographie du Mésolithique. Recherches sur les habitats de plein air entre Loire et Nekar*, Actes de la Table ronde internationale de Paris, 2010, Paris, Société préhistorique française, p. 189-206.
- DUCROCQ T. (2019) – Mésolithique initial et Mésolithique ancien en France septentrionale à Warluis (Oise), in *Préhistoire de l'Europe du Nord-Ouest : mobilités, climats et identités culturelles, Actes du XXVIII^e Congrès Préhistorique de France (Amiens, 30 mai-4 juin 2016)*, Paris, Société préhistorique française, p. 321-344.
- DUCROCQ T., BRIDAULT A., COUTARD S. (2008) – Le gisement mésolithique de Warluis (Oise) : approche préliminaire, in J.-P. Fagnart, B. Souffi and T. Ducrocq (dir.), *Le Début du Mésolithique en Europe du Nord-Ouest*, Paris, Société préhistorique française (coll. Mémoire, XLV), p. 85-106.
- DUCROCQ T., BRIDAULT A., CAYOL N., COUTARD S. (2014) – Une concentration de vestiges caractéristiques du Beuronien à segments : le gisement de Warluis I (Oise), *Revue archéologique de Picardie*, p. 5-42.
- DUCROCQ T., BRIDAULT A., CAYOL N., COUTARD S., SEIGNAC H. (2020) – Des implantations du Mésolithique ancien dans la vallée du Thérain à Warluis VII (Oise), *Revue archéologique de Picardie*, 3-4, p. 5-30.
- DUCROCQ T., LE GOFF I., VALENTIN F. (1996) – La sépulture secondaire mésolithique de la Chaussée-Tirancourt (Somme), *Bulletin de la Société préhistorique française*, 93, 2, p. 211-216.
- DUFOUR E., BOCHERENS H., MARIOTTI A. (1999) – Palaeodietary implications of isotopic variability in Eurasian lacustrine fish, *Journal of Archaeological Science*, 26, 6, p. 617-627.
- FOGEL M.L., TUROSS N., OWSLEY D. (1989) – Nitrogen isotope tracers of human lactation in modern and archaeological populations, *Annual Report of the Director of the Geophysical Laboratory, Washington, Carnegie Institution*, 88, p. 111-116.
- FULLER B.T., FULLER J.L., HARRIS D.A., HEDGES R.E. (2006) – Detection of breastfeeding and weaning in modern human infants with carbon and nitrogen stable isotope ratios, *American Journal of Physical Anthropology*, 129, 2, p. 279-293.
- GELMAN A., CARLIN J., STERN H., DUNSON D., VEHTARI A., RUBIN D. (2014) – *Bayesian Data Analysis*, New York, Chapman and Hall, 675 p.
- GUIRY E.J., SZPAK P. (2021) – Improved quality control criteria for stable carbon and nitrogen isotope measurements of ancient bone collagen, *Journal of Archaeological Science*, 132, p. 105416.
- HOBBI E.A., HÖGBERG P. (2012) – Nitrogen isotopes link mycorrhizal fungi and plants to nitrogen dynamics, *New phytologist*, 196, 2, p. 367-382.
- HERRSCHER E., GOUDE G., METZ L. (2017) – Longitudinal study of stable isotope compositions of maternal milk and implications for the palaeo-diet of infants, *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 29, 3-4, p. 131-139.
- HÖGBERG P. (1997) – Tansley review no. 95 15N natural abundance in soil-plant systems, *The New Phytologist*, 137, 2, p. 179-203.
- INGER R., JACKSON A., PARNELL A., BEARHOP S. (2010) – SIAR v4 (Stable Isotope Analysis in R): an ecologist's guide, Dublin, Ireland, 14 p.
- JADIN I., CARPENTIER M. (1994) – La sépulture mésolithique du Petit Ri à Malonne (Namur, Belgique). Contexte archéologique et position chronologique. *Anthropologie et Préhistoire*, 105, p. 127-146.
- JOCHIM M. (2011) – The Mesolithic, *European Prehistory: A Survey, Interdisciplinary Contributions To Archaeology Series*, Berlin, Springer, p. 125-151.
- KOHN M.J. (2010) – Carbon isotope compositions of terrestrial C3 plants as indicators of (paleo) ecology and (paleo) climate, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107, 46, p. 19691-19695.
- KRAJCARZ M.T., DRUCKER D.G., KRAJCARZ M., BOCHERENS H. (2024) – Collagen Extraction From Pretreated Bone/Tooth Samples, *Protocols.io* <https://dx.doi.org/10.17504/Protocols.io.8epv5rrp4g1b/V1>
- LANG L. (dir.) (1997) – *Occupations Mésolithiques Dans La Moyenne Vallée De La Seine. Rueil-Malmaison «les Cloiseaux»*, Document final de synthèse, Saint-Denis, Service régional d'archéologie Île-de-France, AFAN, Autoroute A 86, p. 394.
- LANG L., SICARD S., BRIDAULT A., GEBHARDT A., KILDEA F., LEROYER C., LIMONDIN-LOZOUET N., VALENTIN F. (2008) – Les occupations mésolithiques des Cloiseaux à Rueil-Malmaison (Hauts-de-Seine), *Le début du Mésolithique en*

- Europe du nord-ouest, Actes de la Table ronde (Amiens, 9 et 10 octobre 2004)*, Paris, Société préhistorique française (coll. Mémoire, 45), p. 65-83.
- LEDUC C., BRIDAULT A., SOUFFI B., DAVID É., DRUCKER D.G. (2013) – Apports et limites de l'étude des vestiges fauniques à la caractérisation d'un site mésolithique de plein air à Paris : « 62 Rue Henry-Farman » (15^e Arrondissement), *Bulletin de la Société préhistorique française*, 110, 2, p. 257-280.
- LEDUC C., BRIDAULT A., CUPILLARD C. (2015) – Wild Boar (*Sus scrofa scrofa*) Hunting And Exploitation Strategies During The Mesolithic At Les Cabônes (Ranchot Jura, France), Layer 3, *Journal of Archaeological Science : Reports*, 2, p. 473-484.
- LE GRAND Y., BRUNET P. (1994) – Étiolles « les Coudray », *Rapport De Diagnostic Archéologique (01/04/1994-31/07/1994)*, Paris, Service régional de l'archéologie, Afan, 47 p.
- LEROYER C., COUBRAY S., ALLENET G., PERRIÈRE J., PERNAUD J.M. (2011) – Vegetation Dynamics, Human Impact And Exploitation Patterns In The Paris Basin Through The Holocene: Palynology Vs. Anthracology. *Sagvntvm Extra*, 11, p. 81-82.
- MAKAROV M.I. (2009) – The Nitrogen Isotopic Composition In Soils And Plants: Its Use In Environmental Studies (A Review), *Eurasian Soil Science*, 42, p. 1335-1347.
- MEADOWS J., ROBSON H.K., GROSS D., HEGGE C., LÜBKE H., SCHMÖLCKE U., TERBERGER T., GRAMSCH B. (2018) – How Fishy Was The Inland Mesolithic? New Data From Friesack, Brandenburg, Germany, *Radiocarbon*, 60, 5, p. 1621-1636.
- MORDANT D., VALENTIN B., VIGNE J.-D. (2013) – Noyen-Sur-Seine, Twenty-Five Years On, in B. Valentin, B. Souffi, T. Ducrocq, J.-P. Fagnart, F. Séara, C. Verjux (dir.), *Palethnographie du Mésolithique. Recherches sur les habitats de plein air entre Loire et Neckar*, Actes de la Table ronde internationale de Paris, 2010, Paris, Société préhistorique française, p. 37-49.
- NEHLICH O. (2015) – The application of sulphur isotope analyses in archaeological research: A review, *Earth-Science Reviews*, 142, p. 1-17.
- NEHLICH O., RICHARDS M.P. (2009) – Establishing collagen quality criteria for sulphur isotope analysis of archaeological bone collagen, *Archaeological and Anthropological Sciences*, 1, p. 59-75.
- NOVÁK M., BUZEK F., HARRISON A.F., PŘECHOVÁ E., JÁČKOVÁ I., FOTTOVÁ D. (2003) – Similarity between C, N and S stable isotope profiles in European spruce forest soils: implications for the use of $\delta^{34}\text{S}$ as a tracer, *Applied geochemistry*, 18, 5, p. 765-779.
- PARIS C., DUCROCQ T., CAYOL N., COUTARD S., GRISELIN S., GUÉRET C., HAMON C., LEDUC C. (2022) – Le début du Beuronien à segments à Balagny-sur-Thérain (Oise, France), *Gallia Préhistoire*, 62, p. 215-267.
- PETERSON B.J., FRY B. (1987) – Stable isotopes in ecosystem studies, *Annual review of Ecology and Systematics*, p. 293-320.
- PRIVAT K.L., O'CONNELL T.C., HEDGES R.E. (2007) – The distinction between freshwater-and terrestrial-based diets: methodological concerns and archaeological applications of sulphur stable isotope analysis, *Journal of Archaeological Science*, 34, 8, p. 1197-1204.
- REIMER P.J., AUSTIN W.E. BARD E., BAYLISS A., BLACKWELL P.G., RAMSEY C.B., BUTZIN M., CHENG H., EDWARDS R.L., FRIEDRICH M., GROOTES P.M. (2020) – The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0-55 cal kBP), *Radiocarbon*, 62, 4, p. 725-57.
- RICHARDS M.P., FULLER B.T., HEDGES R.E. (2001) – Sulphur isotopic variation in ancient bone collagen from Europe: implications for human palaeodiet, residence mobility, and modern pollutant studies, *Earth and Planetary Science Letters*, 191, 3-4, p. 185-190.
- RICHARDS M.P., FULLER B.T., SPONHEIMER M., ROBINSON T., AYLIFFE L. (2003) – Sulphur isotopes in palaeodietary studies: a review and results from a controlled feeding experiment, *International Journal of Osteoarchaeology*, 13, 1-2, p. 37-45.
- SCHULTING R.J. (dir.) (2005) – '...pursuing a rabbit in Burrington Combe': New research on the Early Mesolithic burial cave of Aveline's Hole, *Proceedings of the University of Bristol Spelaeological Society*, 23, 3, p. 171-265.
- SCHULTING R.J., BLOCKLEY S.M., BOCHERENS H., DRUCKER D., RICHARDS M. (2008) – Stable carbon and nitrogen isotope analysis on human remains from the Early Mesolithic site of La Vergne (Charente-Maritime, France), *Journal of Archaeological Science*, 35, 3, p. 763-772.
- SCHULTING R.J., BOOTH T., BRACE S., DIEKMANN Y., THOMAS M., BARNES I., MEIKLEJOHN C., BABB J., BUDD C., CHARLTON S., VAN DER PLICHT L. (2019) – Aveline's Hole: an unexpected twist in the tale. *Proceedings of the University of Bristol Spelaeological Society*, 28, 1, p. 9-63.
- SOUFFI B. (dir.) (2023) – *Occupations mésolithiques dans la moyenne vallée de la Seine : le site de la rue Farman à Paris*, Paris, Inrap/CNRS Éditions (coll. Recherches archéologiques, 24), 302 p.
- STOCK B.C., SEMMENS B.X. (2016) – MixSIAR GUI User Manual v3.1. Scripps Institution of Oceanography, UC San Diego, 59 p.
- STUART A.J. (2015) – Late Quaternary megafaunal extinctions on the continents: a short review, *Geological Journal*, 50, 3, p. 338-363.
- THODE H.G. (1991) – Sulphur isotopes in nature and the environment: an overview, *Stable isotopes: natural and anthropogenic sulphur in the environment*, 43, p. 1-26.
- TOUSSAINT M. (1999) – Charleroi/Mont-sur-Marchienne: contexte des datations radiocarbones des sépultures collectives de la grotte Lombeau, *Chronique de l'archéologie wallonne*, 7, p. 25-27.
- TSUTAYA T., YONEDA M. (2013) – Quantitative reconstruction of weaning ages in archaeological human populations using bone collagen nitrogen isotope ratios and approximate Bayesian computation, *PloS ONE*, 8, 8, p. e72327.
- ULLRICH H., GRAMSCH B. (2015) – Menschliche Skelettreste und Schmuckzähne vom mesolithischen Moorfundplatz Friesack in Brandenburg. *Anthropologie*, LIII, 1-2, p. 315-327.

VALENTIN F. (1997) – La sépulture 1 des Closeaux, in L. Lang (dir.), *Occupations mésolithiques dans la moyenne vallée de la Seine. Rueil-Malmaison « les Closeaux »*, Document final de synthèse, Saint-Denis, Service régional d'archéologie Île-de-France, AFAN, Autoroute A 86, p. 316-332.

VALENTIN F., COTTIAUX R., BUQUET-MARCON C., CONFALONERI J., DELATTRE V., LANG L., LE GOFF I., LAWRENCE-DUBOVAC P., VERJUX C. (2008) – Découvertes récentes d'inhumations et d'une incinération datées du Mésolithique en Île-de-France, *Revue archéologique d'Île-de-France*, 1, p. 21-42.

VAN DER MERWE N.J., MEDINA E. (1991) – The canopy effect, carbon isotope ratios and foodwebs in Amazonia, *Journal of Archaeological Science*, 18, 3, p. 249-259.

VAN DER PLICHT J., AMKREUTZ L.W.S.W., NIEKUS M.T., PEETERS J.H.M., SMIT B.I. (2016) – Surf'n Turf in Doggerland: Dating, stable isotopes and diet of Mesolithic human remains from the southern North Sea, *Journal of Archaeological Science: Reports*, 10, p. 110-118.

VAN KLINKEN G.J. (1999) – Bone collagen quality indicators for palaeodietary and radiocarbon measurements, *Journal of Archaeological Science*, 26, 6, p. 687-695.

ZANON M., DAVIS B.A., MARQUER L., BREWER S., KAPLAN J.O. (2018) – European forest cover during the past 12,000 years: a palynological reconstruction based on modern analogs and remote sensing, *Frontiers in Plant Science*, 9, p. 253.

Dorothee G. DRUCKER

Senckenberg Centre for Human Evolution
and Palaeoenvironment
Senckenberg Society for Nature Research
Biogeology, Department of Geoscience
University of Tübingen
HUMAN ORIGINS
Cluster of Excellence for Integrative
Human Origins Studies (EXC 3101)
dorothee.drucker@senckenberg.de

Anne BRIDAULT

UMR 7041, Archéologies Environnementales
CNRS, MSH Mondes
anne.bridault@cnrs.fr

Thierry DUCROCQ

Inrap Hauts-de-France
thierry.ducrocq@inrap.fr

Frédérique VALENTIN

UMR 8068, TEMPS, CNRS, MSH Mondes
frederique.valentin@cnrs.fr

traduction en français :

Ludovic MEVEL

UMR 8068, TEMPS, CNRS, MSH Mondes
à partir d'un texte généré par Emmy
l'IA générative du CNRS
révision finale :
Dorothee G. DRUCKER

