

L'alimentation des premières sociétés agropastorales du Sud de la France : premières données isotopiques sur des graines et fruits carbonisés néolithiques et essais de modélisation

Fanny Gaveriaux, Laurent Bouby, Philippe Marinval, Isabel Figueiral, Didier Binder, Pierrick Fouéré, Karim Gernigon, Vanessa Léa, Anne Hasler, Alain Vignaud, et al.

▶ **To cite this version:**

Fanny Gaveriaux, Laurent Bouby, Philippe Marinval, Isabel Figueiral, Didier Binder, et al.. L'alimentation des premières sociétés agropastorales du Sud de la France : premières données isotopiques sur des graines et fruits carbonisés néolithiques et essais de modélisation. Comptes Rendus. Palevol, 2022, 21 (19), pp.391-410. 10.5852/cr-palevol2022v21a19 . hal-03512556v2

HAL Id: hal-03512556
https://hal.science/hal-03512556v2

Submitted on 21 Jun 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



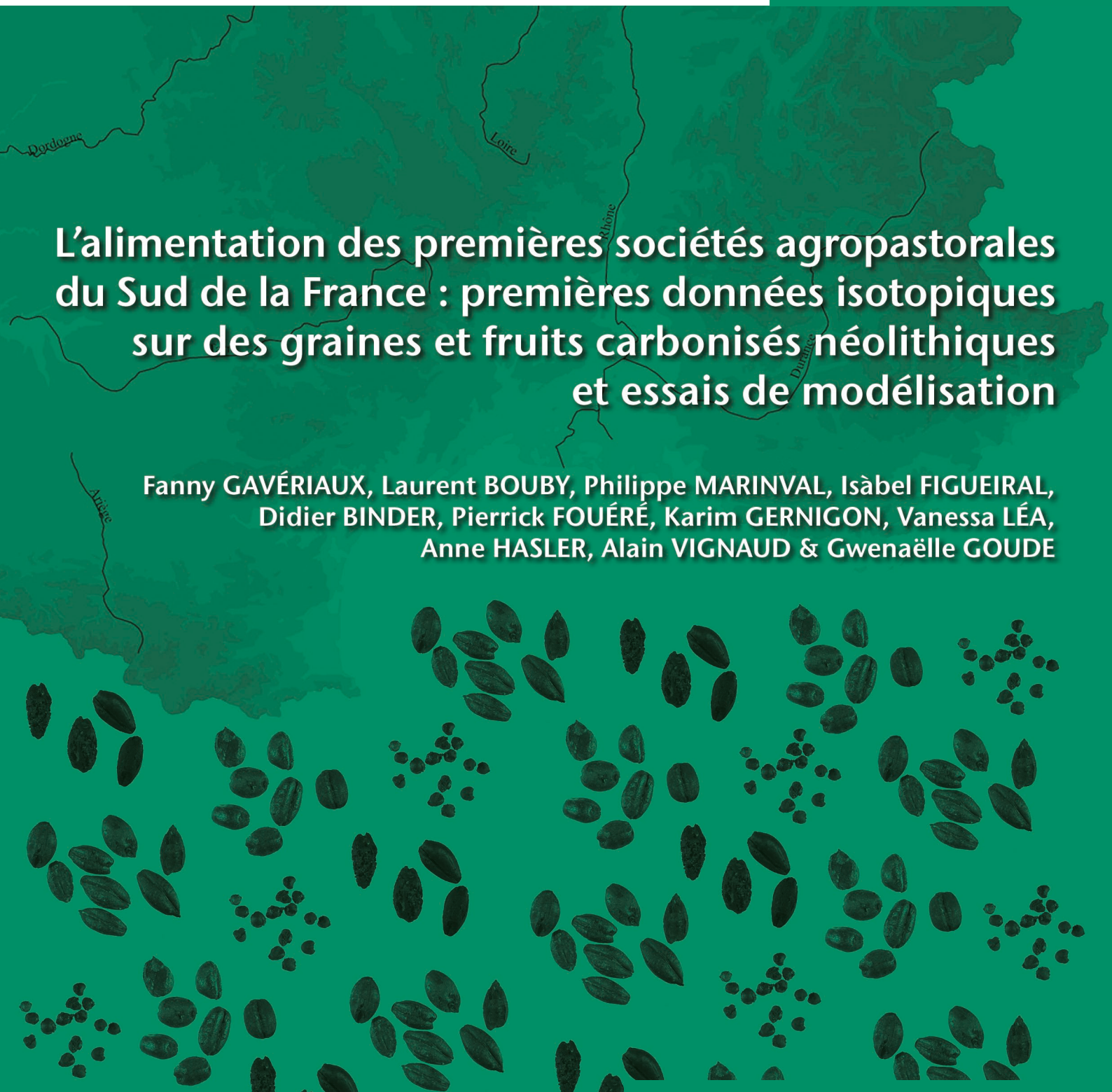
Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

comptes rendus palevol

2022 • 21 • 19

L'alimentation des premières sociétés agropastorales du Sud de la France : premières données isotopiques sur des graines et fruits carbonisés néolithiques et essais de modélisation

Fanny GAVÉRIAUX, Laurent BOUBY, Philippe MARINVAL, Isàbel FIGUEIRAL, Didier BINDER, Pierrick FOUÉRÉ, Karim GERNIGON, Vanessa LÉA, Anne HASLER, Alain VIGNAUD & Gwenaëlle GOUDE



art. 21 (19) — Publié le 16 mai 2022
www.cr-palevol.fr

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Directeurs de la publication / *Publication directors*:
Bruno David, Président du Muséum national d'Histoire naturelle
Étienne Ghys, Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences

Rédacteurs en chef / *Editors-in-chief*: Michel Laurin (CNRS), Philippe Taquet (Académie des sciences)

Assistante de rédaction / *Assistant editor*: Adenise Lopes (Académie des sciences; cr-palevol@academie-sciences.fr)

Mise en page / *Page layout*: Audrina Neveu (Muséum national d'Histoire naturelle; audrina.neveu@mnhn.fr)

Révisions linguistiques des textes anglais / *English language revisions*: Kevin Padian (University of California at Berkeley)

Rédacteurs associés / *Associate editors* (***, took charge of the editorial process of the article*/a pris en charge le suivi éditorial de l'article):

Micropaléontologie/*Micropalaeontology*
Maria Rose Petrizzo (Università di Milano, Milano)

Paléobotanique/*Palaeobotany*
Cyrille Prestianni (Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Brussels)

Métazoaires/*Metazoa*
Annalisa Ferretti (Università di Modena e Reggio Emilia, Modena)

Paléoichthyologie/*Palaeoichthyology*
Philippe Janvier (Muséum national d'Histoire naturelle, Académie des sciences, Paris)

Amniotes du Mésozoïque/*Mesozoic amniotes*
Hans-Dieter Sues (Smithsonian National Museum of Natural History, Washington)

Tortues/*Turtles*
Juliana Sterli (CONICET, Museo Paleontológico Egidio Feruglio, Trelew)

Lépidosauromorphes/*Lepidosauromorphs*
Hussam Zaher (Universidade de São Paulo)

Oiseaux/*Birds*
Eric Buffetaut (CNRS, École Normale Supérieure, Paris)

Paléomammalogie (mammifères de moyenne et grande taille)/*Palaeomammalogy (large and mid-sized mammals)*
Lorenzo Rook (Università degli Studi di Firenze, Firenze)

Paléomammalogie (petits mammifères sauf Euarchontoglires)/*Palaeomammalogy (small mammals except for Euarchontoglires)*
Robert Asher (Cambridge University, Cambridge)

Paléomammalogie (Euarchontoglires)/*Palaeomammalogy (Euarchontoglires)*
K. Christopher Beard (University of Kansas, Lawrence)

Paléoanthropologie/*Palaeoanthropology*
Roberto Macchiarelli (Université de Poitiers, Poitiers)

Archéologie préhistorique/*Prehistoric archaeology*
Marcel Otte* (Université de Liège, Liège)

Référés / *Reviewers*: https://sciencepress.mnhn.fr/fr/periodiques/comptes-rendus-palevol/referes-du-journal

Couverture / *Cover*:
Made from the Figures of the article.

Comptes Rendus Palevol est indexé dans / Comptes Rendus Palevol *is indexed by:*
– Cambridge Scientific Abstracts
– Current Contents® Physical
– Chemical, and Earth Sciences®
– ISI Alerting Services®
– Geoabstracts, Geobase, Georef, Inspec, Pascal
– Science Citation Index®, Science Citation Index Expanded®
– Scopus®.

Les articles ainsi que les nouveautés nomenclaturales publiés dans *Comptes Rendus Palevol* sont référencés par / *Articles and nomenclatural novelties published in* Comptes Rendus Palevol *are registered on:*
– ZooBank® (http://zoobank.org)

Comptes Rendus Palevol est une revue en flux continu publiée par les Publications scientifiques du Muséum, Paris et l'Académie des sciences, Paris
Comptes Rendus Palevol *is a fast track journal published by the Museum Science Press, Paris and the Académie des sciences, Paris*

Les Publications scientifiques du Muséum publient aussi / *The Museum Science Press also publish:*
Adansonia, ***Geodiversitas***, ***Zoosystema***, ***Anthropozoologica***, ***European Journal of Taxonomy***, ***Naturae***, ***Cryptogamie*** **sous-sections** ***Algologie***, ***Bryologie***, ***Mycologie***.

L'Académie des sciences publie aussi / *The Académie des sciences also publishes:*
Comptes Rendus Mathématique, ***Comptes Rendus Physique***, ***Comptes Rendus Mécanique***, ***Comptes Rendus Chimie***, ***Comptes Rendus Géoscience***, ***Comptes Rendus Biologies***.

Diffusion – Publications scientifiques Muséum national d'Histoire naturelle
CP 41 – 57 rue Cuvier F-75231 Paris cedex 05 (France)
Tél.: 33 (0)1 40 79 48 05 / Fax: 33 (0)1 40 79 38 40
diff.pub@mnhn.fr / https://sciencepress.mnhn.fr

Académie des sciences, Institut de France, 23 quai de Conti, 75006 Paris.

© This article is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)
ISSN (imprimé / *print*): 1631-0683/ ISSN (électronique / *electronic*): 1777-571X

L'alimentation des premières sociétés agropastorales du Sud de la France : premières données isotopiques sur des graines et fruits carbonisés néolithiques et essais de modélisation

Fanny GAVÉRIAUX
Institut des Sciences de l'Évolution (ISEM), Université de Montpellier, CNRS, EPHE, IRD, 34000 Montpellier (France)
and Department of Environmental Biology, Sapienza University of Rome, Piazzale Aldo Moro 5, 00185 Rome (Italy)
and Department of Earth Sciences, Sapienza University of Rome, Piazzale Aldo Moro 5, 00185 Rome (Italy)
fanny.gaveriaux@uniroma1.it (corresponding author)

Laurent BOUBY
Institut des Sciences de l'Évolution (ISEM), Université de Montpellier, CNRS, EPHE, IRD, 34000 Montpellier (France)

Philippe MARINVAL
Archéologie des Sociétés Méditerranéennes (ASM), Université Paul Valéry, CNRS, Ministère de la Culture, Institut national de recherches archéologiques préventives (Inrap), 34000 Montpellier (France)

Isàbel FIGUEIRAL
Institut des Sciences de l'Évolution (ISEM), Université de Montpellier, CNRS, EPHE, IRD, 34000 Montpellier (France)
and Institut national de recherches archéologiques préventives (Inrap) DST, 75014 Paris (France)

Didier BINDER
Université Côte d'Azur, CNRS , CEPAM (UMR7264), 06300 Nice (France)

Pierrick FOUÉRÉ
Institut national de recherches archéologiques préventives (Inrap), Nouvelle Aquitaine et Outre-Mer, 33323 Bègles (France)
and UMR 5608 Travaux et recherches archéologiques sur les cultures, les espaces et les sociétés (TRACES), Université Jean Jaurès, 31000 Toulouse (France)

Karim GERNIGON
Service régional de l'archéologie DRAC Auvergne-Rhône-Alpes, 6 quai St Vincent, 69283 Lyon, Cedex 01 (France)
and Travaux et recherches archéologiques sur les cultures, les espaces et les sociétés (TRACES), Université Jean Jaurès, CNRS, Ministère de la Culture, Institut national de recherches archéologiques préventives (Inrap), 31000 Toulouse (France)

Vanessa LÉA
Travaux et recherches archéologiques sur les cultures, les espaces et les sociétés (TRACES), Université Jean Jaurès, CNRS, Ministère de la Culture, Institut national de recherches archéologiques préventives (Inrap), 31000 Toulouse (France)

Anne HASLER
Institut national de recherches archéologiques préventives (Inrap),
Midi-Mediterranée, KM Delta, 561 rue Etienne Lenoir, 30900 Nîmes (France)
and CNRS, Aix Marseille Université, Ministère de la Culture, LAMPEA, MMSH,
5 rue du Château de l'Horloge, 13097 Aix-en-Provence cedex (France)

Alain VIGNAUD
Institut national de recherches archéologiques préventives (Inrap),
Midi-Mediterranée, KM Delta, 561 rue Etienne Lenoir, 30900 Nîmes (France)

Gwenaëlle GOUDE
CNRS, Aix Marseille Université, Ministère de la Culture, LAMPEA, MMSH,
5 rue du Château de l'Horloge, 13097 Aix-en-Provence cedex (France)

Soumis le 16 mai 2020 | Accepté le 31 décembre 2020 | Publié le 16 mai 2022

urn:lsid:zoobank.org:pub:DC1D132D-D5DF-49CB-B57C-BDEDBEBA369D

Gavériaux F., Bouby L., Marinval P., Figueiral I., Binder D., Fouéré P., Gernigon K., Léa V., Hasler A., Vignaud A. & Goude G. 2022. — L'alimentation des premières sociétés agropastorales du Sud de la France : premières données isotopiques sur des graines et fruits carbonisés néolithiques et essais de modélisation. *Comptes Rendus Palevol* 21 (19) : 391-410. https://doi.org/10.5852/cr-palevol2022v21a19

RÉSUMÉ
L'analyse isotopique ($\delta^{13}C$ et $\delta^{15}N$) d'ossements humains a permis de franchir un pas décisif dans la connaissance de l'alimentation des sociétés du Néolithique. Cependant, les données isotopiques des ressources végétales cultivées ou sauvages n'étaient, jusqu'à présent, pas intégrées dans la reconstitution du régime alimentaire des groupes humains. Cette étude propose d'explorer les variations isotopiques enregistrées dans des carporestes provenant de sept sites archéologiques néolithiques du Sud de la France, afin de comprendre les facteurs environnementaux et/ou anthropiques qui peuvent les influencer. Ces données sont ensuite incluses dans les modèles alimentaires de sujets retrouvés dans les mêmes sites ou à proximité. Les analyses isotopiques des carporestes indiquent que des environnements similaires n'engendrent pas des valeurs homogènes. Au niveau de certains sites, les résultats suggèrent des pratiques de cultures différentes entre espèces. Les modèles alimentaires confirment certaines interprétations proposées précédemment, notamment l'existence de groupes humains au sein d'un même site ne consommant pas les mêmes ressources. Ils montrent également que certains aspects de leur alimentation, notamment les ressources sauvages, auraient pu être sous-estimées.

MOTS CLÉS
Paléodiète, isotopes stables, carpologie, Méditerranée, Néolithique.

ABSTRACT
Diet of the first agropastoral societies from the South of France: first isotopic data on carbonized Neolithic cereals and fruits and dietary modelling.
Stable isotope analyses ($\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$) of human bones have been crucial for understanding the diets of Neolithic societies. However, isotopic measurements of wild and cultivated vegetal resources have not as yet been integrated into reconstructions of human diets. This study explores the isotopic variations in seed and fruit remains from seven Neolithic sites in Southern France. It aims to understand environmental and/or anthropic factors that could influence the isotopic ratios. These data are then included in a dietary model for individuals found at the same sites or nearby. Analysis of botanical remains indicate that similar environments do not provide homogeneous values. For some sites, results suggest different cultivation practices according to species. The dietary models confirm some interpretations previously proposed, including a diversity in the dietary habits at one site. However, some aspects of the diet could have been under-estimated, such as the consumption of wild food plants.

KEY WORDS
Paleodiet, stable isotopes, archaeobotany, Mediterranean, Neolithic.

ABRIDGED VERSION

The use of carbon ($\delta^{13}C$) and nitrogen ($\delta^{15}N$) stable isotope analyses on human and animal bones is a relevant tool for studying the diet of the first agropastoral societies of the Neolithic (Schoeninger & DeNiro 1984; Bocherens & Drucker 2003). According to previous analyses of adult human bones from the Mediterranean region, the diet of Early and Middle Neolithic people was based mostly on terrestrial mammals, including domestic ones (Le Bras-Goude *et al.* 2006a, b, 2010; Goude 2007; Goude *et al.* 2011, 2013). Botanical resources seem to have played a secondary role (Le Bras-Goude *et al.* 2009; Goude & Herrscher 2018; Gleize *et al.* 2019). Nonetheless, their presence is attested in archaeological sites in southern France by charred fruit and seed remains, occasionally in large quantities. In addition to cereals, which were the most common discovery, and legumes, which were found occasionally, wild fruits such as acorns have been regularly found, sometimes in large quantities, indicating that they may have been commonly collected and eaten. The importance of vegetal resources could therefore have been underestimated in previous dietary studies. In fact, no botanical isotopic data have up to now been available in Southern France and consequently could not be taken into consideration in the interpretation of Neolithic diets. Moreover, when assessing vegetal proteins, former studies assumed that humans and animals ate plants with similar isotopic values. However, isotopic ratios in plants are influenced by anthropologic (Bol *et al.* 2005; Bogaard *et al.* 2007; Fraser *et al.* 2011), environmental (Amundson *et al.* 2003; Ferrio *et al.* 2007; Flohr *et al.* 2011) and physiological factors (Virginia & Delwiche 1982; Flohr *et al.* 2011). In this context, and considering the lack of isotopic data in the Mediterranean region for vegetal resources, this study tests the possibility of reconsidering paleodietary studies by adding stable isotopic data from botanical material. Our objectives are: 1) to produce the first stable isotopic data ($\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$) from charred fruits and seeds of six taxa (*Hordeum vulgare* L.; *Triticum aestivum/turgidum* L.; *T. dicoccum* Schubl.; *T. monococcum* L.; *Vicia sativa* L.; and acorns of *Quercus* sp.) from seven Neolithic archaeological sites of southern France; and 2) to integrate these results into a Bayesian dietary model based on stable isotope measurements already available from human and other animal bones from five archaeological sites in the region.

The results of isotopic analyses of botanical remains do not allow the identification of meaningful differences among species of cereals regarding the $\Delta^{13}C$ values ($\delta^{13}C$ corrected to take into account $\delta^{13}C$ fluctuation of the atmospheric CO_2 through time) (*H. vulgare*: 17.0 ± 1 [n = 10]; *T. aestivum/turgidum*: 16.7 ± 0.7 [n = 7]; *T. dicoccum*: 16.7 ± 1 [n = 10]) nor nitrogen values (*H. vulgare*: 6.9 ± 2.7 [n = 10]; *T. aestivum/turgidum*: 4.7 ± 1.8 [n = 7]; *T. dicoccum*: 5.0 ± 1.4 [n = 10]). Acorns have low $\delta^{15}N$ values (0.8 and 1.7 ‰), close to those of legumes which have a mean of 1 ± 0.2 ‰ (n = 4). The similarities among the values for different plant taxa could create a misinterpretation of the resources consumed, stressing the importance of analyzing a wide range of taxa at the site when possible. Isotopic values of cereals do not show homogeneity in sites located in the same broad area or in those with similar environmental characteristics. Variation in isotopic values for one species is very likely due to the influence of local environmental conditions as well as, possibly, climatic changes that occurred during the time lapse covered at the sites. The variation for a given species at a single site can also be explained by human cultivation practices. Naked wheat and barley seem to have been managed in different ways at la Font-aux-Pigeons. The carbon values are higher for naked wheat than barley, indicating better water availability. Water availability is significantly higher in Claparouse for common vetch than cereals (18.7 ± 0.9 [n = 4] and 16.4 ± 0.1 [n = 3]). Incidentally, this could support the hypothesis of the cultivation of common vetch rather than gathering of seeds in wild stands (Bouby & Léa 2006).

Isotopic values from carpological remains are integrated into Bayesian dietary models for humans from the sites of Pendimoun, le Rastel, Fontbrégoua, in Provence, and the sites of le Crès and le Pirou in l'Hérault. The elements from specific sites have been sorted into distinct groups based on archaeological data and prior paleo-alimentary studies. At Pendimoun, wild resources, both vegetal and animal, probably had an important role in the diets of adult individuals. Cultivated cereals found at the site were also part of their diet. The woman F2, found in a particular funerary context, seems to have benefited from a more balanced diet with an equal contribution from vegetal and animal resources. The model shows a more important consumption of wild animals at the site of Fontbrégoua compared to other resources. It is consistent with the nature of the site, which is a seasonally occupied cave where a lot of wild animal bones have been found. For the sites situated in l'Hérault, le Crès and le Pirou, three groups were analyzed. The first one shows a large consumption of plants with low $\delta^{15}N$, such as legumes and acorns, as well as wild animals. The second one may have had a more balanced diet. The last group, represented by dog remains, has intermediate values: plants such as legumes and wild animals played a larger part in their diet than for the second human group. The Bayesian models stress the importance of the consumption of vegetal resources which could have been underestimated in previous paleodietary studies. The role of wild plants such as acorns seems more important than previously thought. Finally, different diets at the same site could reflect different social statures, giving insights into the organization of the first agropastoral societies.

This exploratory work should be complemented by additional isotopic analyses of botanical remains in order to refine our paleodietary interpretations and to improve our understanding of the environmental and anthropological factors influencing isotopic values. Nonetheless, these first results show that this method allows deeper insights into the resources consumed by Neolithic individuals, shining a new light on the place and diversity of vegetal resources in human diets.

INTRODUCTION

En France, l'utilisation, depuis plus d'une décennie, des marqueurs isotopiques pour étudier l'alimentation humaine durant la Préhistoire, et particulièrement au Néolithique, a permis de documenter les modes de subsistance et d'inférer sur des choix culturels, économiques et environnementaux. À partir des valeurs des isotopes stables du carbone ($\delta^{13}C$) et de l'azote ($\delta^{15}N$) mesurées dans le collagène osseux de restes humains et d'animaux qui leur sont associés sur les sites archéologiques, il est possible de discuter l'importance relative des protéines animales dans la diète (Bocherens & Drucker 2003) au cours des dernières années de la vie de l'individu (Valentin 2002 ; Hedges *et al.* 2007), ainsi que l'origine environnementale des ressources (e.g. marine vs terrestre) (Schoeninger & DeNiro 1984). De récentes synthèses sur des sites localisés du Nord au Sud de la France soulignent notamment l'impact des paramètres environnementaux locaux sur les compositions isotopiques des ressources, la variabilité entre les différents groupes humains en termes de consommation de protéines animales (Goude & Fontugne 2016) et des différences entre sujets masculins et féminins selon les sites (Goude *et al.* 2013 ; Rey *et al.* 2017). Toutefois, jusqu'à présent, ces études utilisaient des référentiels isotopiques locaux, uniquement établis à partir de vestiges osseux d'animaux domestiques et sauvages, et ne prenaient pas en compte tout le pan de l'alimentation que constituaient les ressources végétales. De plus, les études relatives à l'alimentation reposaient sur l'hypothèse que la faune et les groupes humains consommaient des plantes dont les valeurs isotopiques étaient identiques. Ainsi, une augmentation du $\delta^{13}C$ et du $\delta^{15}N$ entre des taxons distincts était interprétée comme témoignant d'une position plus élevée dans la chaîne alimentaire (Styring *et al.* 2015). Cependant, il a été montré que les valeurs isotopiques du carbone et de l'azote des plantes variaient en fonction des espèces (e.g. Virginia & Delwiche 1982 ; Flohr *et al.* 2011 ; Wallace *et al.* 2013) et étaient influencées par des paramètres environnementaux et climatiques (e.g. Amundson *et al.* 2003 ; Flohr *et al.* 2011 ; Wallace *et al.* 2013). Certaines pratiques agricoles, comme l'ajout de fumure ou l'amélioration de la disponibilité en eau au sein des cultures, impactent également le $\delta^{13}C$ et le $\delta^{15}N$ mesurés sur des carporestes carbonisés (Bol *et al.* 2005 ; Bogaard *et al.* 2007 ; Fraser *et al.* 2011). Les ressources végétales exploitées par les groupes humains sont représentées dans les sites archéologiques par des restes, dont les plus communs, ceux qui peuvent être identifiés avec la plus grande précision, sont les graines et fruits carbonisés. Ces derniers sont d'ailleurs habituellement considérés comme majoritairement constitués de déchets de l'alimentation des groupes humains ou des animaux vivant dans son entourage. Ils sont carbonisés accidentellement ou volontairement au cours de leur traitement. Il reste cependant toujours difficile de connaître les usages précis de chaque plante. Il est également difficile de déterminer dans quelle mesure la représentation d'une plante dans le registre archéobotanique est fidèle à son importance économique pour les populations passées, sachant que la conservation par carbonisation impose un filtre taphonomique majeur, au bénéfice des graines et fruits les plus résistants et de ceux les plus communément traités par la chaleur (séchage, grillage, cuisson, usage comme combustible) (e.g. Lebreton *et al.* 2017).

De nombreuses études paléoalimentaires ont déjà été conduites en Méditerranée occidentale sur des restes osseux de sujets humains adultes de sites du Néolithique ancien et moyen (Sud de la France et Ligurie). Celles-ci ont montré que les mammifères terrestres, notamment domestiques, constituaient la majorité des apports protéiques (Le Bras-Goude *et al.* 2006a, b, 2010 ; Goude 2007 ; Goude *et al.* 2011, 2013). La part végétale semblait secondaire, excepté dans certains cas, comme en Languedoc, où une contribution significative de céréales et/ou légumineuses a été suggérée (Le Bras-Goude *et al.* 2009 ; Goude & Herrscher 2018 ; Gleize *et al.* 2019). Pour ce qui est des études carpologiques, bien qu'encore trop limitées, elles permettent d'esquisser les grands traits des ressources alimentaires végétales consommées par les populations néolithiques dans le Sud-Est de la France (Marinval 1993 ; 2008 ; Martin *et al.* 2016 ; Bouby *et al.* 2018, 2019, 2020). Les vestiges les plus fréquents renvoient au corpus des céréales, globalement dominé par le blé nu (*Triticum aestivum/turgidum* L.) et l'orge nue (*Hordeum vulgare* var. *nudum* Hook. f.). Les blés vêtus, amidonnier (*Triticum dicoccum* Schubl.) et engrain (*Triticum monococcum* L.), fournissent une contribution majeure à certaines périodes, au tout début du Néolithique ancien, et à partir de la seconde moitié du Chasséen (après 4000 BCE). Les autres plantes cultivées sont beaucoup plus rares, la conservation par carbonisation ne favorise pas leur enregistrement. Les légumineuses, en particulier lentille (*Lens culinaris* Medik.), gesse (*Lathyrys cicera* L./*sativus* L.) et pois (*Pisum sativum* L.), sont occasionnellement enregistrées. Quelques découvertes sporadiques de graines de lin (*Linum usitatissimum* L.) et de pavot (*Papaver somniferum* L.) rappellent que l'alimentation végétale devait intégrer des produits oléagineux. La présence récurrente de multiples fruits sauvages constitue la partie émergée d'un pan de l'alimentation constitué de ressources sauvages cueillies dont l'importance réelle demeure bien difficile à évaluer pour des raisons taphonomiques. Effectivement, les restes fruitiers sont plus abondants et diversifiés dans les sites néolithiques où ils pourront être conservés dans l'eau que dans les sites de milieu sec, où seuls les restes carbonisés se conservent (e.g. Colledge & Conolly 2014). Des concentrations de glands (*Quercus* sp.) carbonisés trouvées dans plusieurs sites montrent que ces fruits sauvages ne constituaient pas que des grappillages opportunistes, mais pouvaient être collectés en masse pour faire l'objet d'un traitement spécifique et être éventuellement stockés pour un usage décalé.

La diversité de l'alimentation végétale des sociétés agropastorales du Néolithique est difficile à évaluer uniquement au travers des études carpologiques et des mesures isotopiques réalisées sur les ossements. De plus, compte tenu des découvertes sur la variabilité isotopique des plantes, liée notamment à l'environnement et aux pratiques humaines, il semble nécessaire de reconsidérer les études paléoalimentaires à la lumière de données isotopiques paléobotaniques. Les objectifs de cet article sont donc : 1) de produire des valeurs isotopiques à

Tableau 1. — Informations concernant les sites archéologiques.

Sites	Communes	Départements	Périodes	Nature du site	Références	Matériel analyses isotopiques	
						Graines/Fruits	Ossements humains
Pendimoun	Castellar	Alpes-Maritimes	Néolithique ancien	Abri-sous-roche	Binder *et al.* 1993, 2020	×	×
La Font-aux-Pigeons	Châteauneuf-les-Martigues	Bouche-du-Rhône	Néolithique ancien	Abri-sous-roche	Courtin *et al.* 1985 ; Binder *et al.* 2017	×	×
Claparouse	Lagnes	Vaucluse	Néolithique moyen	Plein air	Léa *et al.* 2004 ; Bouby & Léa 2006	×	
Fontbrégoua	Salernes	Var	Néolithique moyen	Abri-sous-roche	Binder 1987 ; Le Bras-Goude *et al.* 2010	×	
Le Pirou	Valros	Hérault	Néolithique moyen	Plein air	Gleize *et al.* 2019		×
Le Crès	Béziers	Hérault	Néolithique moyen	Plein air	Loison *et al.* 2004 ; Le Bras-Goude *et al.* 2009		×
Jardins de Vert Parc	Castelneau-le-Lez	Hérault	Néolithique moyen	Plein air	Vignaud 1999	×	
Burlière	Trets	Bouche-du-Rhône	Néolithique moyen	Plein air	–	×	
La Perte du Cros	Saillac	Lot	Néolithique moyen	Abri-sous-roche	Galan 1967 ; Gernigon *et al.* 2008	×	
			Néolithique final			×	

partir de graines et fruits néolithiques du Sud de la France où, à la différence du Nord de l'Europe (Bogaard *et al.* 2013 ; Styring *et al.* 2017 ; Aguilera *et al.* 2018), du sud du bassin méditerranéen (Araus *et al.* 1997 ; Ferrio *et al.* 2005) et du Proche-Orient (Fiorentino *et al.* 2012 ; Masi *et al.* 2014), les études isotopiques sur des échantillons carpologiques sont presque inexistantes (Alagich *et al.* 2018) ; et 2) de prendre en compte ces résultats dans une modélisation intégrant différentes ressources alimentaires végétales, conçue à partir de résultats isotopiques sur ossements humains préalablement disponibles dans la région.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Nature et provenance du matériel carpologique

Les analyses isotopiques ont été réalisées sur des restes carpologiques provenant de sept sites archéologiques localisés dans le Sud de la France, datés entre le Néolithique ancien et final (5750-5700 BCE jusqu'à 2000 BCE) (Fig. 1). Les sites sont des occupations de plein air et des abris-sous-roche (Tableau 1). Les carporestes analysés correspondent principalement à des caryopses de céréales : orge commune (*Hordeum vulgare* L.), blé nu (*Triticum aestivum/turgidum*), amidonnier (*Triticum dicoccum*) et engrain (*Triticum monococcum*). Les légumineuses sont représentées par la vesce commune (*Vicia sativa* L.). Quelques glands de chêne (*Quercus* sp.) ont également été étudiés. Pour notre sélection d'échantillons, nous avons privilégié les espèces pour lesquelles des données isotopiques sont disponibles sur des semences actuelles et celles qui étaient les plus abondantes dans les contextes archéologiques. Selon le site d'étude, les carporestes ont été retrouvés dans des assemblages de nature différente (Tableau 1). Certains constituent des concentrations, présentant une forte densité carpologique ainsi que la domination d'une seule, ou d'un petit nombre d'espèces : il s'agit généralement de produits homogènes, représentant un évènement particulier. Les autres sont des ensembles ouverts qui représentent des accumulations plus diffuses, souvent constitués de déchets multiples (Bouby 2014). L'ensemble du matériel est conservé par carbonisation.

Échantillonnage

Les échantillons isolés pour les analyses isotopiques sont systématiquement composés des carporestes d'une seule espèce, issus d'un prélèvement unique. Ils contiennent deux à trois spécimens. La quantité de restes carpologiques étant restreinte pour la majorité des sites, nous avons choisi de minimiser la taille des échantillons afin de privilégier la réalisation de réplicas et ainsi pouvoir évaluer la variabilité interne au prélèvement archéologique. Selon les sites, le nombre de réplicas par espèce a varié selon la quantité de matériel carpologique disponible ainsi qu'en fonction de leur réaction au traitement chimique.

Traitement chimique et analyses isotopiques

Le traitement chimique utilisé est celui de Fraser *et al.* (2013), confirmé par Vaiglova *et al.* (2014). Il repose sur un traitement acide-base-acide (ABA). Il permet de retirer les contaminants tels que les carbonates et les acides humiques, qui impactent le $\delta^{13}C$, ainsi que les nitrates qui influencent le $\delta^{15}N$. Dans un premier temps, les carporestes sont plongés dans le HCl concentré à 0,5 M et placés dans une étuve à 70 °C pendant 30 minutes. Cette étape permet d'éliminer les carbonates. Ils sont ensuite rincés cinq fois à l'eau distillée jusqu'à ce que la solution redevienne claire et que le pH soit neutre. La deuxième étape consiste à ajouter du NaOH à 0,1 M, puis à chauffer la solution à l'étuve à 70 °C pendant 60 minutes avant de rincer cinq à neuf fois à l'eau distillée selon les échantillons. Le traitement au NaOH permet de retirer les acides humiques. Pour finir, les carporestes sont à nouveau traités au HCl à 0,5 M, chauffés à 70 °C pendant 30 minutes et rincés

cinq fois à l'eau distillée afin de libérer le CO_2 qui aurait pu être piégé durant l'étape précédente. L'eau distillée permet d'éliminer les nitrates.

Les carporestes traités sont ensuite séchés à l'étuve pendant 18 heures à 65 °C, puis réduits en une fine poudre homogène, dont 1,5 à 2 mg sont incorporés dans les capsules d'étain. Toute cette phase de préparation des échantillons a été réalisée dans la plateforme de biochimie du LAMPEA, Aix-en-Provence, France. Les analyses élémentaires et isotopiques ont été réalisées par EA-IRMS (analyseur élémentaire couplé à un spectromètre de masse isotopique ; Iso-Analytical Ltd. ; Crewe, Royaume-Uni). L'erreur sur la mesure est calculée à partir de réplicas de standards internes qui sont la farine de blé (IA-R001), un mélange de sulfate d'ammonium et de sucre de betterave (IA-R045/IA-R005) et un mélange de sulfate d'ammonium et de sucre de canne (IA-R046/IA-R006). Elle est au maximum de 0,14 ‰ pour le $\delta^{15}N$ et de 0,1 ‰ pour le $\delta^{13}C$, en prenant deux erreurs standards.

Effet de la carbonisation sur le $\delta^{15}N$ et le $\delta^{13}C$ et calcul de $\Delta^{13}C$

La plupart des études menées montrant que les valeurs du $\delta^{13}C$ ne sont pas ou très peu affectées par les conditions de carbonisation (Fraser *et al.* 2013 ; Styring *et al.* 2013), aucune correction n'est appliquée à nos données pour le $\delta^{13}C$. En revanche, il semble que le $\delta^{15}N$ subisse un changement directionnel systématique lors de la carbonisation (Fraser *et al.* 2013 ; Nitsch *et al.* 2015). D'après Nitsch *et al.* (2015), l'ampleur de ce changement est liée à la durée et plus particulièrement à la température de carbonisation. Les conditions exactes de carbonisation (T° et durée) des graines utilisées n'étant pas connues, la correction de 0,31 ‰ proposée par Nitsch *et al.* (2015) est appliquée.

Les variations de $\delta^{13}C$ du CO_2 de l'atmosphère au cours de l'Holocène doivent être prises en compte pour pouvoir comparer les résultats de différentes périodes (Ferrio *et al.* 2005, 2007). Le calcul utilisé est celui proposé par Farquhar *et al.* (1982) :

$$\Delta^{13}C = \frac{\delta^{13}C_{air} - \delta^{13}C_{sample}}{\left(1 + \frac{\delta^{13}C_{sample}}{1000}\right)}$$

Le $\delta^{13}C_{air}$ correspond à la valeur isotopique du CO_2 atmosphérique pour une période de temps spécifique, estimée à partir de données provenant de carottes de glace couvrant l'intégralité de l'Holocène (Leuenberger *et al.* 1992 ; Francey *et al.* 1999 ; Indermühle *et al.* 1999 ; Eyer *et al.* 2004), et $\delta^{13}C_{sample}$ à la valeur isotopique de l'échantillon.

Modélisation

Trois modélisations chrono-géographiques sont proposées à partir du package Stable Isotope Analysis in R (SIAR) (Parnell *et al.* 2008 ; Parnell & Jackson 2013) implémenté dans l'environnement R (R Development Core Team 2011). Les boîtes-à-moustaches proposées par cette application représentent une estimation des proportions de ressources consommées avec des intervalles de probabilité de 25, 75 et 95 %. Les fractionnements isotopiques pris en compte pour l'établissement des modèles sont ceux entre l'aliment (plantes, muscles animaux) et le collagène osseux humain ($\Delta^{13}C$ de *c.* +5 ‰ et $\Delta^{15}N$ de *c.* +4 ‰, $\Delta^{13}C$ correspond ici à une différence liée au fractionnement isotopique entre l'alimentation et le collagène osseux analysé et non à la prise en compte des variations de $\delta^{13}C$ du CO_2 de l'atmosphère au cours de l'Holocène pour comparer les ratios isotopiques du carbone des carporestes) (DeNiro & Epstein 1978 ; DeNiro & Epstein 1981). Les modèles sont donc générés en prenant en compte ces offsets entre les tissus, les concentrations élémentaires, les données isotopiques avec leurs écart-types et pas d'*a priori*.

Abréviations

Composés chimiques

ABA acide-base-acide ;
HCl acide chlorhydrique ;
NaOH hydroxyde de sodium.

Zones archéologiques

MM « moderately manured » ;
MW « moderately watered » ;
PM « poorly manured » ;
PW « poorly watered » ;
WM « well manured » ;
WW « well watered ».

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les plantes étant à la base de la chaîne alimentaire, leurs valeurs de $\Delta^{13}C$ et de $\delta^{15}N$ ont un impact sur l'ensemble des niveaux trophiques. Il est donc important de prendre en compte, non seulement les valeurs isotopiques spécifiques de la plante, mais également les facteurs naturels ou anthropiques qui peuvent les influencer afin de les intégrer à l'interprétation des données pour la paléoalimentation.

Variabilité interspécifique des valeurs isotopiques

Les résultats confirment que les plantes ayant des voies d'assimilation de l'azote différentes possèdent des valeurs isotopiques spécifiques, toujours visibles dans les carporestes carbonisés (Tableau 2). Les plantes fixatrices d'azote, représentées ici par des graines de *V. sativa* provenant d'une fosse du site chasséen de Claparouse, ont une moyenne de $\delta^{15}N$ de 1 ± 0,2 ‰ (n = 4). Cette valeur est bien plus basse que celle des céréales, qui malgré une certaine variabilité, sont autour de 5,6 ± 2,2 ‰ (n = 29).

Les mesures isotopiques des glands de *Quercus* sp. sont essentielles à prendre en compte, car ces derniers semblent constituer une source de nourriture importante dans certains sites pré et protohistoriques (Ruas & Marinval 1991 ; Marinval 2008). Les glands de l'abri de Pendimoun ont des $\Delta^{13}C$ semblables à ceux des céréales en C3. Leurs valeurs de $\delta^{15}N$ sont relativement basses par rapport aux autres taxons, se rapprochant de celles des légumineuses (Tableau 2). La différence de 0,8 ‰ qui existe entre les deux mesures du $\delta^{15}N$ peut être expliquée

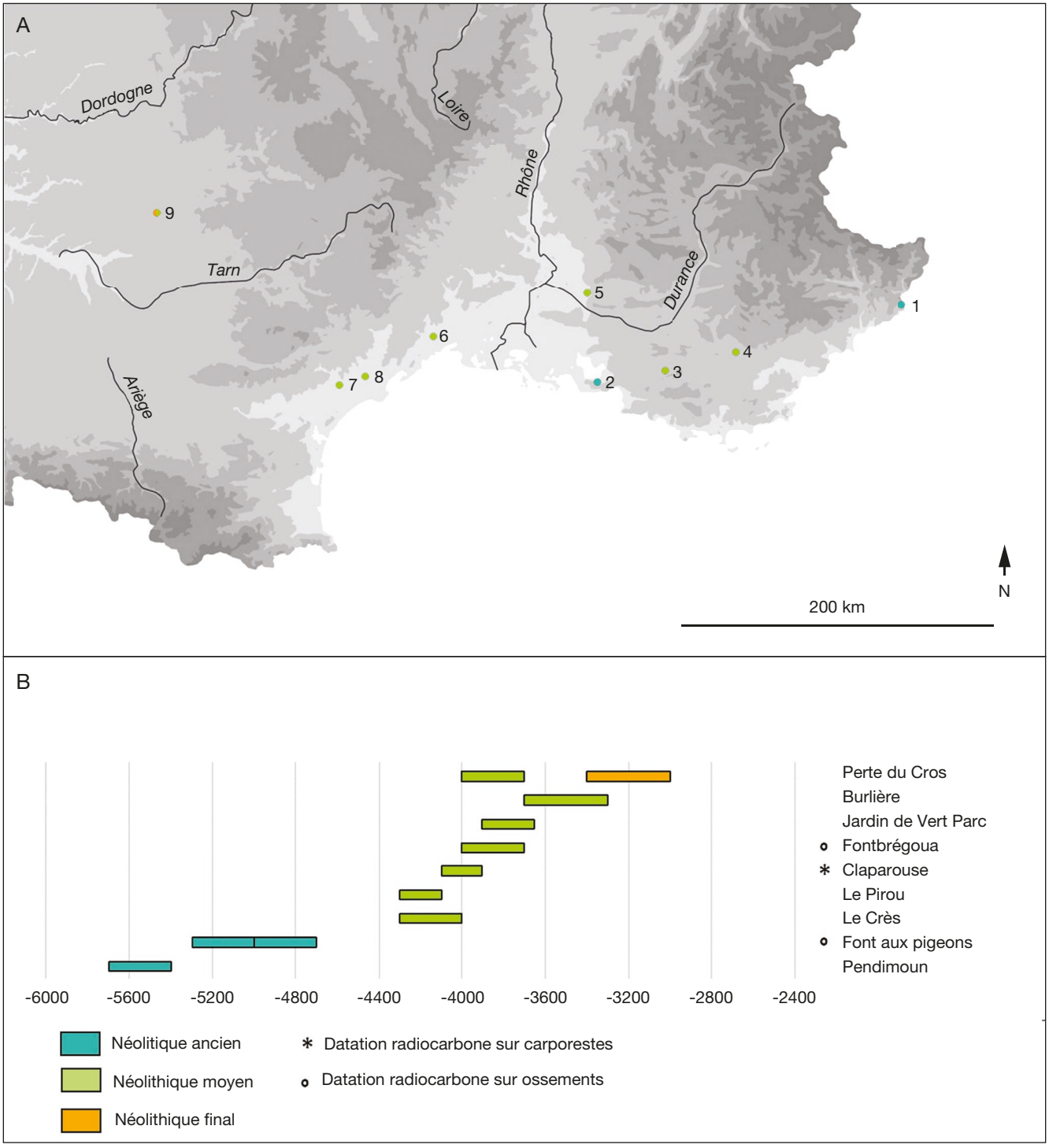


Fig. 1. — Localisation (**A**) et datation (**B**) des sites archéologiques. Numéros : **1**, Pendimoun ; **2**, la Font-aux-Pigeons ; **3**, Burlière ; **4**, Fontbrégoua ; **5**, Claparouse ; **6**, Jardin de Vert Parc ; **7**, le Crès ; **8**, le Pirou ; **9**, la Perte-du-Cros. Toutes les dates sont exprimées en BCE.

notamment par le fait que les glands ne peuvent être identifiés que jusqu'au niveau du genre. Il est ainsi possible qu'ils appartiennent à plusieurs espèces possédant des physiologies et des compositions chimiques légèrement différentes, pouvant induire un fractionnement différent. Les espèces présentes en région méditerranéenne, en particulier dans l'environnement contrasté du site de Pendimoun, sur la frange méridionale des Alpes, peuvent pousser dans des conditions écologiques très diverses. Une étude anthracologique a notamment mis en évidence la présence de la chênaie caducifoliée qui dominerait le paysage durant l'Impressa (Battentier *et al.* 2015), le chêne sempervirent serait également présent, bien que plus discret (Battentier *et al.* 2015). Il est intéressant de noter que des valeurs isotopiques de $\delta^{15}N$ mesurées sur des glands modernes

TABLEAU 2. — Rapports isotopiques du carbone et azote bruts et corrigés des différents carporestes étudiés, ainsi que les informations relatives à l'assemblage, au context et au site d'où ils proviennent.

Sites	Contextes archéologiques	Références	Codes	Nature de l'assemblage	Phases chrono culturelles	Taxons	Azote (%)	Carbone (%)	$\delta^{15}N$ (‰)	$\delta^{13}C$ (‰)	$\delta^{15}N$ cor. (‰)	$\Delta^{13}C$ (‰)
Pendimoun	Couche	AP 43870	PE_43870	Ouvert	Impressa	*Quercus* sp.	1,6	65,3	1,1	– 24,3	0,8	18,1
Pendimoun	Couche	AP 46819	PE_46819	Ouvert	Impressa	*Quercus* sp.	0,9	66,1	2,0	–25,0	1,7	18,8
Font-aux-Pigeons	Fosse	17-fosse	FP_17	Indéterminé	Cardial	*Hordeum vulgare* L.	2,9	59,6	5,3	–23,1	4,9	16,9
Font-aux-Pigeons	Fosse	17-fosse	FP_17	Indéterminé	Cardial	*H. vulgare*	2,5	65,0	5,2	–23,5	4,9	17,2
Font-aux-Pigeons	Fosse	17-fosse	FP_17	Indéterminé	Cardial	*H. vulgare*	3,5	63,5	10,7	–23,4	10,4	17,1
Font-aux-Pigeons	Fosse	17-fosse	FP_17	Indéterminé	Cardial	*H. vulgare*	2,3	62,9	12,0	–23,7	11,7	17,5
Font-aux-Pigeons	Fosse	17-fosse	FP_17	Indéterminé	Cardial	*Triticum aestivum/turgidum* L.	2,9	61,6	6,1	–23,6	5,8	17,4
Font-aux-Pigeons	Fosse	17-fosse	FP_17	Indéterminé	Cardial	*T. aestivum/turgidum*	2,6	62,5	6,1	–23,9	5,8	17,7
Font-aux-Pigeons	Couche	C11	FP_C11	Indéterminé	Cardial	*H. vulgare*	2,8	65,1	3,7	–22,2	3,4	16,1
Font-aux-Pigeons	Couche	C11	FP_C11	Indéterminé	Cardial	*H. vulgare*	2,4	59,5	4,6	–23,1	4,3	17,1
Font-aux-Pigeons	Couche	C11	FP_C11	Indéterminé	Cardial	*H. vulgare*	2,1	62,4	6,5	–23,4	6,2	17,4
Font-aux-Pigeons	Couche	C11	FP_C11	Indéterminé	Cardial	*H. vulgare*	2,9	64,3	6,6	–23,0	6,3	17,0
Font-aux-Pigeons	Couche	C11	FP_C11	Indéterminé	Cardial	*T. aestivum/turgidum*	3,7	62,4	8,2	–21,9	7,9	15,8
Claparouse	Fosse	Z 130-140 S I-d5	CL_130	Concentration	Chasséen récent	*Vicia sativa* L.	5,0	49,0	1,2	–24,1	0,9	18,1
Claparouse	Fosse	Z 130-140 S I-d5	CL_130	Concentration	Chasséen récent)	*V. sativa*	4,7	46,8	1,4	–23,9	1,1	17,9
Claparouse	Fosse	Z 150-155 S I-d5	CL_150	Concentration	Chasséen récent	*V. sativa*	5,5	48,3	1,1	–25,7	0,8	19,8
Claparouse	Fosse	Z 150-155 S I-d5	CL_150	Concentration	Chasséen récent	*V. sativa*	5,2	48,2	1,5	–24,8	1,2	18,9
Claparouse	Fosse	Z 120-130 S I-d5	CL_120	Concentration	Chasséen récent	*T. dicoccum*	3,3	49,1	4,6	–22,5	4,2	16,5
Claparouse	Fosse	Z 140-145 S I-d5	CL_140	Concentration	Chasséen récent	*T. aestivum/turgidum*	3,6	49,9	3,8	–22,3	3,5	16,3
Claparouse	Fosse	Z 140-145 S I-d5	CL_140	Concentration	Chasséen récent	*T. aestivum/turgidum*	3,3	50,0	4,3	–22,4	4,0	16,4
Fontbrégoua	Couche	Carrés IJ-13/14 – Couche 21 P140	FO_21	Ouvert	Chasséen récent	*T. dicoccum* Schubl.	3,9	64,3	3,0	–22,1	2,7	16,1
Fontbrégoua	Couche	Carrés IN-12/15 – Couche 22 P140	FO_22	Ouvert	Chasséen récent	*T. dicoccum*	3,6	65,0	6,3	–23,2	6,0	17,2
Jardins de Vert Parc	Fosse-silo	SI 1085		Ouvert	Chasséen récent	*T. aestivum/turgidum*	2,4	49,9	3,4	–23,1	3,1	17,1
Jardins de Vert Parc	Fosse-silo	SI 1085		Ouvert	Chasséen récent	*T. aestivum/turgidum*	2,3	49,3	3,2	–22,0	2,9	16,0
Burlière	Fosse-silo	FS3333		Concentration	Chassée récent/final	*T. monococcum* L.	4,2	63,6	6,7	–21,7	6,4	15,7
Burlière	Fosse-silo	FS3333		Concentration	Chassée récent/final	*T. monococcum*	3,7	62,0	3,5	–22,0	3,1	16,0
Burlière	Fosse-silo	FS3333		Concentration	Chassée récent/final	*T. dicoccum*	3,5	61,6	5,0	–22,1	4,6	16,1
Burlière	Fosse-silo	FS3333		Concentration	Chassée récent/final	*T. dicoccum*	3,8	58,5	6,7	–21,0	6,4	15,0
La Perte du Cros	Couche	US1102 W2 P230	PC_1102	Concentration	Chasséen récent	*T. dicoccum*	3,2	59,8	6,4	–24,0	6,1	18,1
La Perte du Cros	Couche	US1102 W2 P230	PC_1102	Concentration	Chasséen récent	*T. dicoccum*	3,8	60,9	6,8	–24,1	6,5	18,2
La Perte du Cros	Couche	US1102 W2 P230	PC_1102	Concentration	Chasséen récent	*T. dicoccum*	3,8	61,0	6,7	–22,9	6,4	17,0

Tableau 2. — Suite.

Sites	Contextes archéologiques	Références	Codes	Nature de l'assemblage	Phases chrono culturelles	Taxons	Azote (%)	Carbone (%)	$\delta^{15}N$ (‰)	$\delta^{13}C$ (‰)	$\delta^{15}N$ cor. (‰)	$\Delta^{13}C$ (‰)
La Perte du Cros	Couche	US1118 W3 P250	PC_1118	Concentration	Chasséen récent	*H. vulgare*	3,3	59,9	8,5	–20,9	8,2	14,8
La Perte du Cros	Couche	US1118 W3 P250	PC_1118	Concentration	Chasséen récent	*H. vulgare*	3,4	48,7	9,2	–24,4	8,9	18,5
La Perte du Cros	Couche	US1088 B5 P201	PC_1088	Concentration	Néolithique final	*T. dicoccum*	4,1	61,7	3,6	–22,2	3,3	16,2
La Perte du Cros	Couche	US1088 B5 P201	PC_1088	Concentration	Néolithique final	*T. dicoccum*	3,7	62,4	4,4	–22,2	4,1	16,2

provenant de différentes espèces (sempervirentes, persistantes ou caduques) ont donné des résultats se situant dans la même fourchette (–2 à 7 ‰) que nos données, confirmant ainsi les mesures effectuées (Koenig *et al.* 2008 ; Alegria *et al.* 2020).

De manière générale, les données obtenues ne permettent pas d'observer de différences de $\Delta^{13}C$ entre les céréales étudiées (*H. vulgare* : 17,0 ± 1 [n = 10] ; *T. aestivum/turgidum* : 16,7 ± 0.7 [n = 7] ; *T. dicoccum* : 16,7 ± 0.1 [n = 10]). Ceci se vérifie au niveau des sites dans lesquels deux espèces de céréales ont pu être étudiées permettant de comparer directement les résultats, comme *T. dicoccum* et *T. monococcum* à la Burlière, ou *H. vulgare* et *T. aestivum/turgidum* à la Font-aux-Pigeons. Diverses études, basées aussi bien sur du matériel actuel qu'archéologique, ont cependant mis en évidence des différences interspécifiques, même si elles restent discrètes. Les caryopses d'orge présentent généralement des valeurs de $\Delta^{13}C$ plus hautes que celles du blé nu (Wallace *et al.* 2013) et de l'amidonnier (eg. Masi *et al.* 2014). Ceci est expliqué par une demande en eau moins forte chez l'orge que le blé et par un cycle de croissance plus court, lui permettant d'éviter davantage la sécheresse estivale et le stress hydrique, conduisant à une baisse du $\Delta^{13}C$. Les carporestes étudiés provenant de périodes et d'environnements bien distincts, cela pourrait expliquer la grande hétérogénéité des valeurs du $\Delta^{13}C$, et donc masquer de telles différences interspécifiques au sein des céréales en C3. En ce qui concerne le $\delta^{15}N$, les résultats sont très variables et il ne semble pas y avoir de différence marquée et directionnelle entre les céréales (*H. vulgare* : 6,9 ± 2,7 [n = 10] ; *T. aestivum/turgidum* : 4,7 ± 1,8 [n = 7] ; *T. dicoccum* : 5,0 ± 1,4 [n = 10]).

Le Tableau 2 montre dans quel type d'assemblages les carporestes ont été trouvés, il ne semble pas que les valeurs entre les graines provenant de concentrations soient plus homogènes que celles provenant d'assemblages ouverts.

Variabilité intraspécifique des valeurs isotopiques

Les données ne permettent pas de détecter une influence de la situation géographique ou environnementale des sites dans la variabilité du signal isotopique pour une même espèce. Si l'on se réfère aux valeurs isotopiques des céréales (les seules qui permettent une comparaison entre plusieurs sites) on ne perçoit pas, par exemple, une homogénéité particulière des valeurs des $\Delta^{13}C$ et $\delta^{15}N$ pour le site de la Burlière et de la Font-aux-Pigeons, localisés dans des conditions environnementales proches, tous les deux dans le bassin de l'Étang de Berre, à proximité de la Méditerranée (Figs 2 ; 3). À l'opposé, les valeurs isotopiques de la Perte du Cros, site le plus occidental, localisé dans l'ambiance plus humide et plus fraîche des causses du Quercy, ne se détachent pas de celles des sites de milieu méditerranéen. Les paramètres influençant le plus fortement les valeurs isotopiques semblent être des facteurs plus strictement locaux, tels que la topographie, les caractéristiques édaphiques, l'altitude, ou encore la densité de la canopée (Heaton 1999 ; Amundson *et al.* 2003 ; Flohr *et al.* 2011) que notre échantillonnage ne permet pas de détecter. Les sites ne couvrant pas toujours les mêmes périodes et étant échelonnés sur une durée de 3500 ans environ, l'hétérogénéité des valeurs dans une même région géographique pourrait également être expliquée par les variations climatiques ayant eu lieu au cours du temps (Jalut *et al.* 2000 ; Peyron *et al.* 2011 ; Mauri *et al.* 2015).

Conditions et pratiques de culture

La comparaison des données obtenues à des valeurs seuils pour la disponibilité en eau et la fertilisation, calculées sur des cultures actuelles, permet de mieux cerner les conditions dans lesquelles les plantes étudiées ont pu être cultivées au Néolithique. Les référentiels actuels sont incontournables pour l'interprétation des mesures isotopiques effectuées sur des carporestes archéologiques. Il faut cependant se garder d'un comparatisme strict, car les conditions climatiques et socio-environnementales dans lesquelles ils ont été réalisés ne sont pas toujours directement transférables au passé, *a fortiori* si les études modernes n'ont pas été effectuées à proximité des sites archéologiques. Les seuils de disponibilité en eau ont été déterminés grâce à des mesures réalisées sur des cultures expérimentales d'orge (*H. vulgare*) et de blé nus (*T. aestivum* et *T. durum*) localisées en région méditerranéenne et en Asie du Sud-Est (Wallace *et al.* 2013). Globalement, les carporestes néolithiques du Sud de la France semblent provenir de plantes ayant été dans des conditions environnementales variables sans que l'on puisse identifier une tendance au niveau des espèces ou des périodes (Fig. 2). Des indices de fertilité ont, de même, été calculés pour le $\delta^{15}N$ sur des cultures actuelles situées en zone tempérée d'Europe du Nord (Bogaard *et al.* 2013). Confrontés à ces valeurs (Fig. 3), très peu de carporestes se trouve dans la zone PM (« poorly manured »). Il est alors vraisemblable que les niveaux enregistrés signent une fertilisation des sols par l'homme. C'est tout particulièrement le cas pour les valeurs

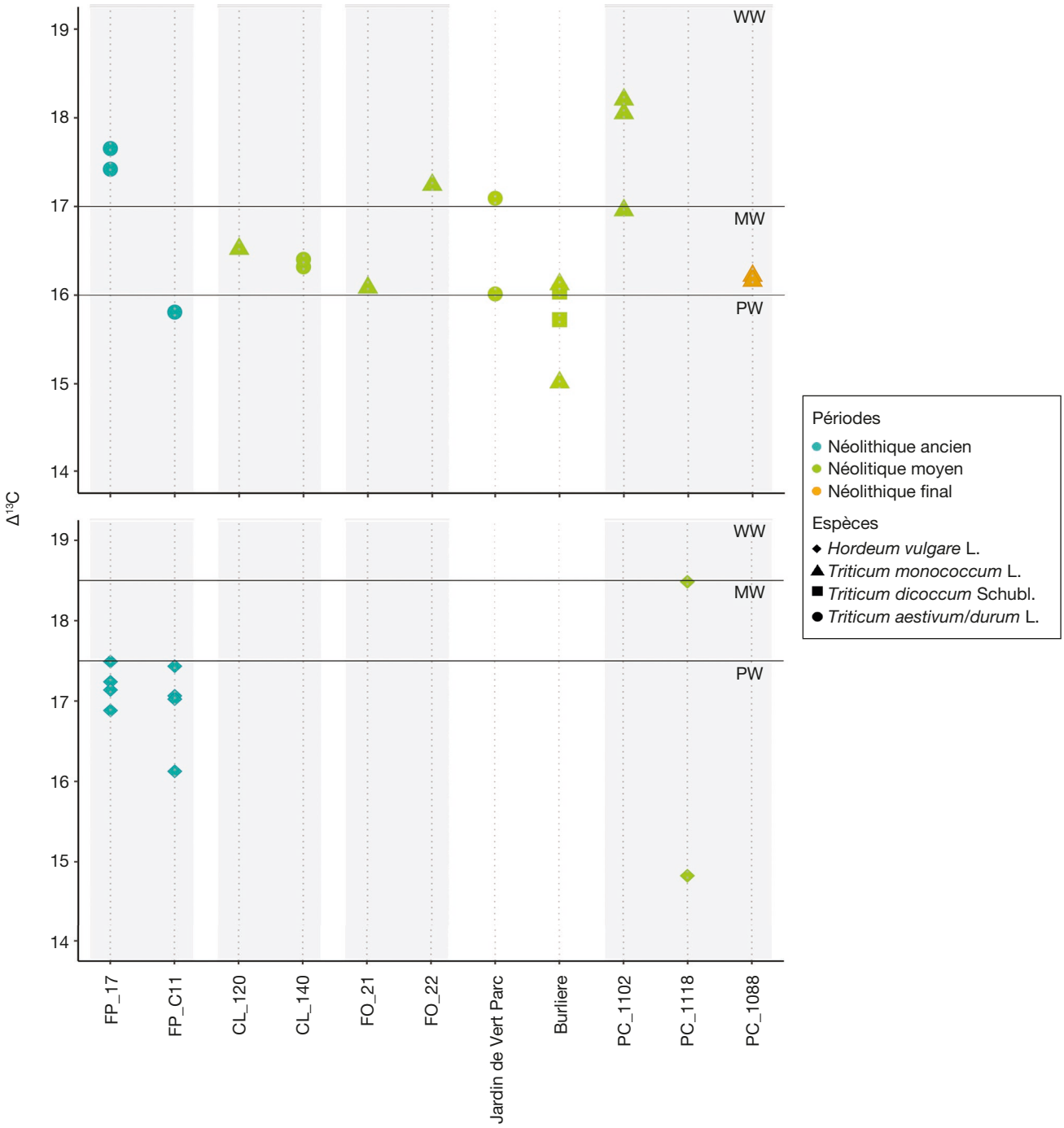


Fig. 2. — Valeurs isotopiques de $\Delta^{13}C$ et disponibilité en eau. Sites : **CL_120**, **CL_140**, Claparouse ; **FO_21**, **FO_22**, Fontbrégoua ; **FP_17**, **FP_C11**, la Font-aux-Pigeons ; **PC_1102**, **PC_111**, **PC_1088**, la Perte du Cros. Abréviations : **MW**, apport en eau modéré ; **PW**, apport en eau insuffisant ou faible ; **WW**, bon apport en eau.

situées dans la zone WM (« well manured »), considérée comme témoignant de parcelles ayant reçu une quantité importante de fumure sur le long terme (Bogaard *et al.* 2013), comme pour les orges et certains échantillons d'amidonnier de la Perte du Cros, l'amidonnier et l'engrain de la Burlière ou encore certains orges ou blés nus de la Font-aux-Pigeons. Selon les mesures actuelles, la zone MM (« moderately manured ») peut correspondre à un amendement en faible quantité sur le long terme, à un effet résiduel passé ou encore aux toutes premières années d'amendement (Fraser *et al.* 2011).

Le site de la Font-aux-Pigeons permet une confrontation des ratios isotopiques des orges et des blés nus laissant entrevoir une possible différence en termes de gestion des deux espèces. Les mesures de $\Delta^{13}C$ des carporestes du blé nu du contexte FP_17, sont dans la zone WW (« well watered »), indiquant une bonne disponibilité en eau, contrairement aux orges qui sont dans la zone PW (« poorly watered ») (Fig. 2). Au niveau du contexte FP_C11, qui représente une phase d'occupation plus récente, les orges se trouvent encore dans la zone PW, en revanche, les grains de blé nus passent dans

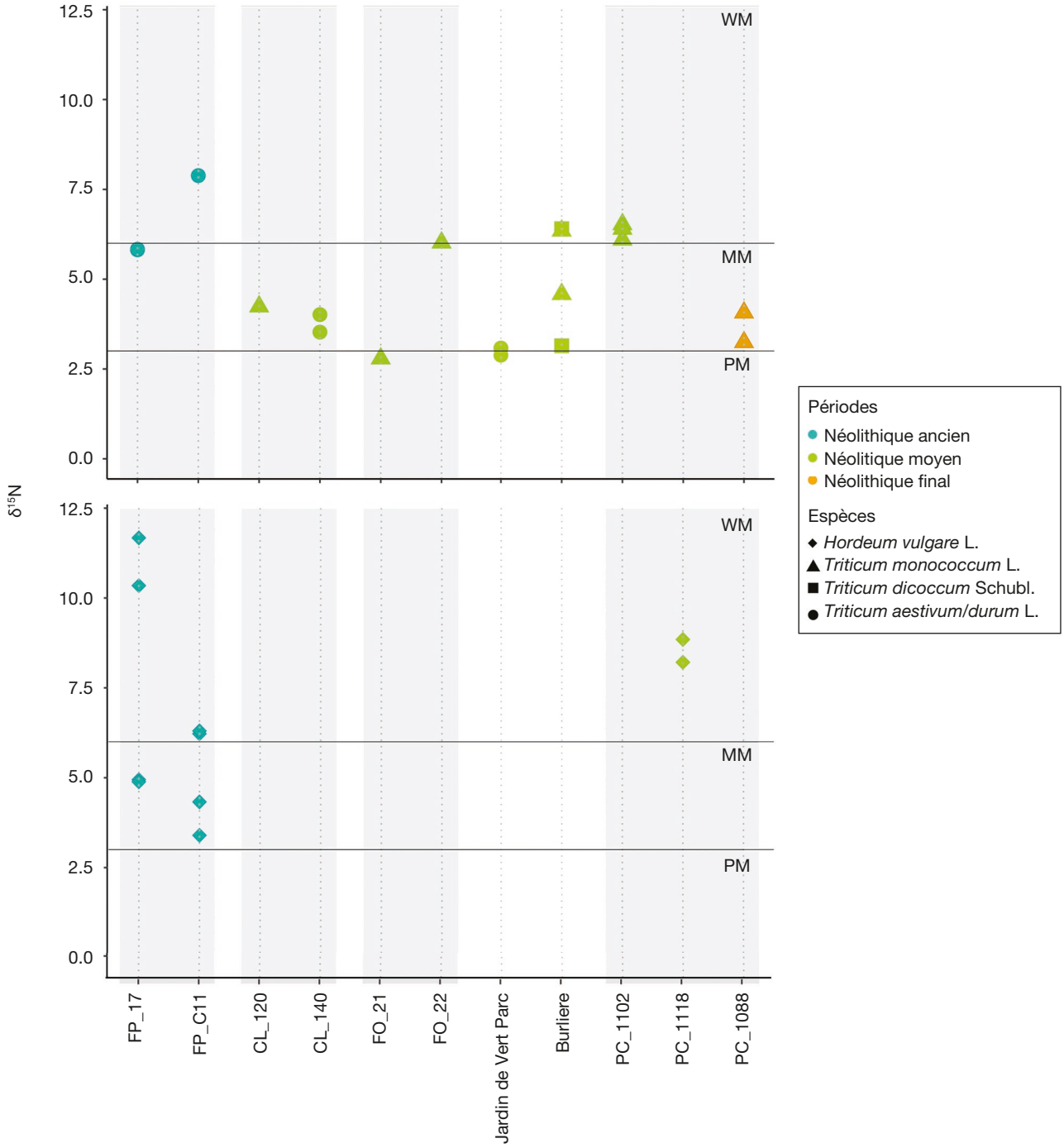


Fig. 3. — Valeurs isotopiques de $\delta^{15}N$ et seuils de fertilité. Sites : **CL_120**, **CL_140**, Claparouse ; **FO_21**, **FO_22**, Fontbrégoua ; **FP_17**, **FP_C11**, la Font-aux-Pigeons ; **PC_1102**, **PC_111**, **PC_1088**, la Perte du Cros. Abréviations : **MM**, fertilisation modérée ; **PM**: faible fertilisation ; **WM**, fertilisation importante.

la zone PW (Fig. 2). Il faut cependant rester prudent face à l'identification d'une différence de gestion par rapport à la phase précédente en raison de la faible quantité de mesures pour ce contexte. Les mesures du $\delta^{15}N$ de l'orge sont très variables pour les deux contextes, témoignant à la fois d'un ajout de fumure moyen et important (Fig. 3). Cette variabilité peut révéler l'exploitation de parcelles aux propriétés contrastées, ou faisant l'objet de pratiques de gestion différenciées. Elle pourrait également être expliquée par le fait qu'il s'agit de récoltes de différentes années.

À la Perte du Cros, les grains d'amidonnier du Néolithique moyen (PC_1102 et PC_1118) se situent dans la zone WM pour le $\delta^{15}N$ (Fig. 3). Les valeurs du $\Delta^{13}C$ indiquent également une très bonne disponibilité en eau (Fig. 2). Les conditions environnementales dans lesquelles les amidonniers de la Perte du Cros se sont développés au Néolithique moyen semblent donc particulièrement favorables. Les orges, quant à eux, bien qu'étant également dans la zone WM (Fig. 3), présentent des résultats plus contrastés pour le $\Delta^{13}C$ avec une valeur indiquant des plantes s'étant développées avec suffisamment

d'eau et une valeur se situant dans la zone PW (Fig. 2). Par rapport à la période précédente, les grains d'amidonnier du Néolithique final (PC_1088) témoignent d'un apport en eau et d'une fertilité plus limités (Figs 2 ; 3), sans que l'on puisse en l'état savoir s'il existe une tendance chronologique qui pourrait refléter l'érosion des terres au cours du Néolithique avec l'aridification du climat pour la baisse du $\Delta^{13}C$ et l'appauvrissement des terres cultivées pour le $\delta^{15}N$. Il se peut également que la gestion de l'amidonnier ait changée au fil du temps et que moins d'attention ne lui soit apporté au profit d'autres céréales. La réalisation de mesures additionnelles pourrait aider à lever cette dernière hypothèse.

Les graines de *V. sativa* provenant de Claparouse, ont un $\Delta^{13}C$ élevé (18,7 ± 0,9 [n = 4]) par rapport aux céréales retrouvées sur le même site (16,4 ± 0,1 [n = 3]) (Fig. 2). Ferrio *et al.* (2005) expliquent ces hautes valeurs par le fait que les légumineuses produisent leurs fruits sur une longue durée, durant laquelle l'apport hydrique reste généralement bon (mars, jusqu'à juin). Néanmoins, il n'est pas possible d'écarter l'hypothèse selon laquelle les céréales et la vesce n'auraient pas été traitées de la même manière par les cultivateurs. D'après les mesures réalisées par Wallace *et al.* (2013) sur une légumineuse, *Lens culinaris*, les valeurs observées à Claparouse correspondent à des plantes s'étant développées dans d'excellentes conditions de disponibilité en eau.

La présence de la vesce commune à Claparouse soulève une question relative à l'origine des graines. L'espèce est rarement attestée dans le Néolithique du nord-ouest méditerranéen et était inconnue jusque-là, à cette époque, dans le Midi de la France. La plante possédant des formes spontanées localement, il est difficile de savoir si les graines proviennent de vesces cultivées ou de cueillettes réalisées dans les populations sauvages. Devant la concentration de graines de *V. sativa*, fortement majoritaires dans l'assemblage de Claparouse (98 %), Bouby & Léa (2006) supposent qu'elles proviennent de cultures plutôt que de cueillettes. Le bon apport hydrique enregistré par le signal isotopique s'accorde bien avec cette hypothèse, puisque la mise en culture suppose le choix d'un terrain et la réalisation, par les pratiques de cultures, de conditions favorables à la croissance de la plante.

Modélisation de la paléodiète au Néolithique dans le Sud de la France

Les premières données isotopiques sur les vestiges carpologiques du Néolithique dans le Sud de la France offrent l'opportunité de proposer de nouvelles interprétations paléoalimentaires à partir des données humaines et animales acquises jusqu'alors, ainsi que de réévaluer les différents rôles que pourraient avoir les ressources végétales et animales dans l'apport protéique des sujets humains. Nous proposons d'apporter de nouvelles connaissances sur l'alimentation humaine en remobilisant les données isotopiques précédemment publiées. Pour cela, nous utilisons un modèle bayésien qui prend en compte, d'une part, la proportion relative des animaux et des végétaux analysés des sites, ou les plus proches géographiquement et chronologiquement des sites (modèle A), et, d'autre part, la part relative de toutes les différentes espèces de végétaux néolithiques du Sud de la France (modèle B).

Un premier groupe de modèles est effectué à partir des données humaines des sites du Néolithique ancien et moyen de Pendimoun (Cardial) et du Rastel (culture des Vases à Bouche carrée ou Pré-Chasséen) (Le Bras-Goude *et al.* 2006b), en séparant l'individu féminin F2 de Pendimoun des autres sujets adultes, étant donné ses caractéristiques isotopiques (Le Bras-Goude *et al.* 2006a) et son traitement funéraire particulier (Binder *et al.* 1993) (Fig. 4). Le résultat montre que, pour le groupe de sujets adultes, les herbivores sauvages (cerf, chevreuil), suivi par les bovins domestiques ainsi que les glands, retrouvés en grande quantité sur le site de Pendimoun (Binder *et al.* 2020), pouvaient représenter une part importante de l'alimentation. Ils seraient complétés par diverses autres ressources carnées (Fig. 4A). On peut également soupçonner une consommation de céréales, qui sont attestées par la carpologie dans le Néolithique ancien de Pendimoun, i.e., l'orge nue, l'amidonnier et l'engrain (Binder *et al.* 1993, 2020). Pour le sujet féminin F2, les différentes ressources considérées dans le modèle, qu'elles soient animales ou végétales, seraient consommées à part égale (Fig. 4A). Ces résultats confirment la part importante des protéines animales dans l'alimentation des premiers agropasteurs de Provence, mais indiquent que les ressources sauvages, animales comme végétales, ont pu avoir un rôle significatif contrairement à ce qui était suggéré dans les premières interprétations isotopiques et archéozoologiques (Binder *et al.* 1993 ; Le Bras-Goude *et al.* 2006a). Le choix d'inclure les glands dans les modèles alimentaires a été motivé par les résultats de plusieurs études carpologiques qui ont montré la grande récurrence des fruits sauvages dans les habitats néolithiques et de l'âge du Bronze de l'arrière-pays, notamment dans les occupations en grottes et abris-sou-roche, par rapport aux grands habitats de la zone littorale (Antolín & Jacomet 2015 ; Alonso *et al.* 2016 ; Bouby *et al.* 2020). La question d'une plus grande contribution des fruits à l'alimentation des habitants reste posée dans ces études, mise en balance avec une sur-représentation d'origine taphonomique ou un lien avec le fourrage des animaux domestiques. Les résultats des modèles calculés à Pendimoun peuvent constituer des arguments pour une consommation significative des fruits dans ces habitats. Lorsque l'ensemble des végétaux est considéré dans le modèle (Fig. 4B), on remarque que les deux groupes présentent des résultats équilibrés entre les différents végétaux sauvages ou cultivés. Les restes carpologiques du site de Pendimoun indiquent une diversité des apports végétaux domestiques et sauvages (Binder *et al.* 1993, 2020) et donc une variété d'environnements exploités par les sujets humains. Ce constat a également été fait sur la base de l'identification de microrestes végétaux retrouvés dans le tartre dentaire de sujets néolithiques méditerranéens de la fin du VI^e^ et début du V^e^ millénaire BCE (Power *in* Goude *et al.* 2020), et à partir des travaux carpologiques d'Antolín (2016) réalisés sur des sites néolithiques du nord-est de la péninsule Ibérique.

Un second groupe de modèles est réalisé à partir des données humaines du site Néolithique ancien et moyen de Fontbrégoua, où les individus sont considérés ensemble en raison de l'homogénéité des données biochimiques mesurées (Le Bras-Goude *et al.* 2010) (Fig. 5). La comparaison

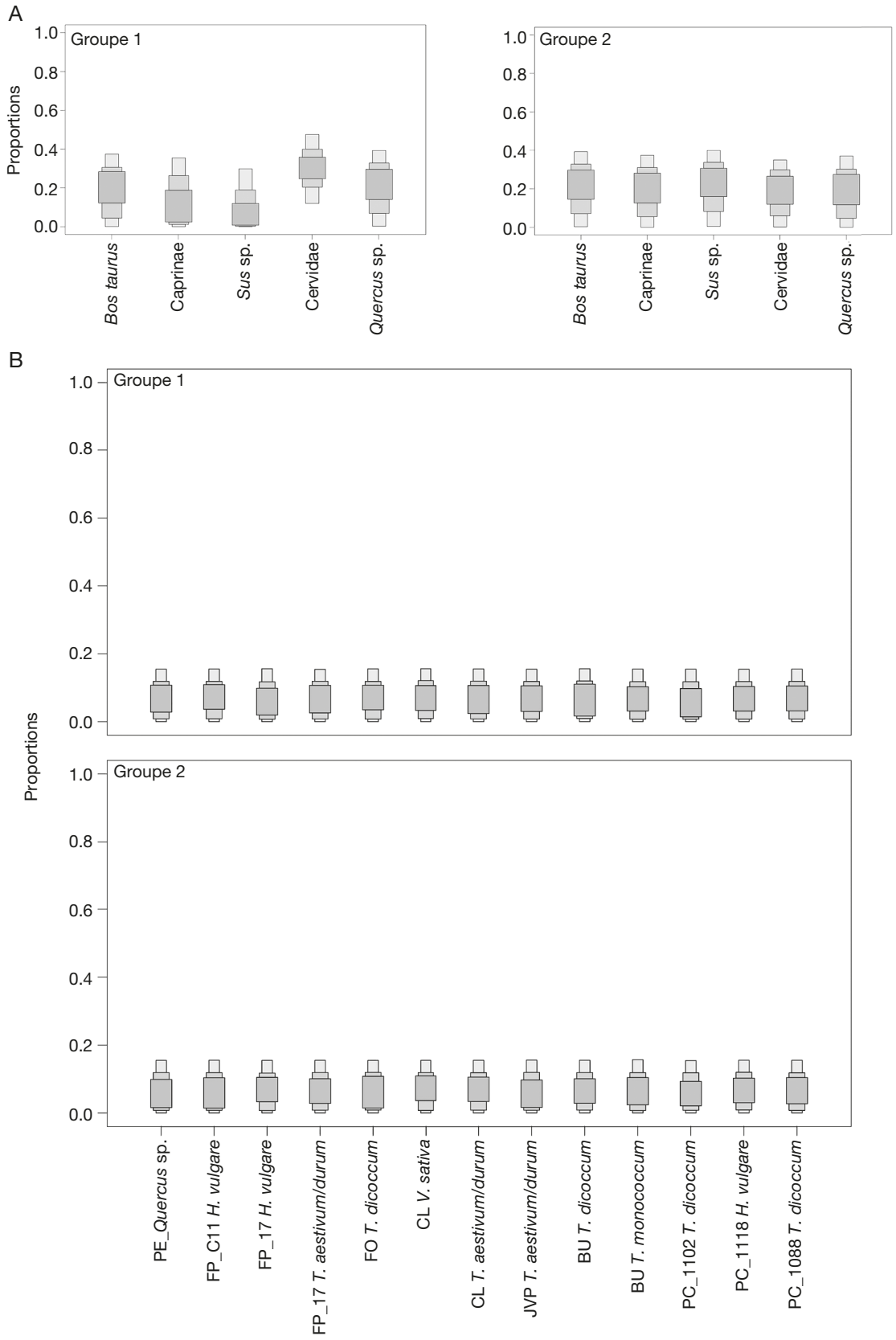


Fig. 4. — Modélisation alimentaire pour les individus de Pendimoun et du Rastel (Cardial-VBQ) : **A**, modèle A, valeurs pour la viande et les végétaux locaux ; **B**, modèle B, valeurs pour les végétaux du Néolithique (ancien et moyen) du Sud de la France ; **groupe 1**, femme F1 et 3 hommes (Le Bras-Goude *et al.* 2006a, b) ; **groupe 2**, femme F2 de Pendimoun.

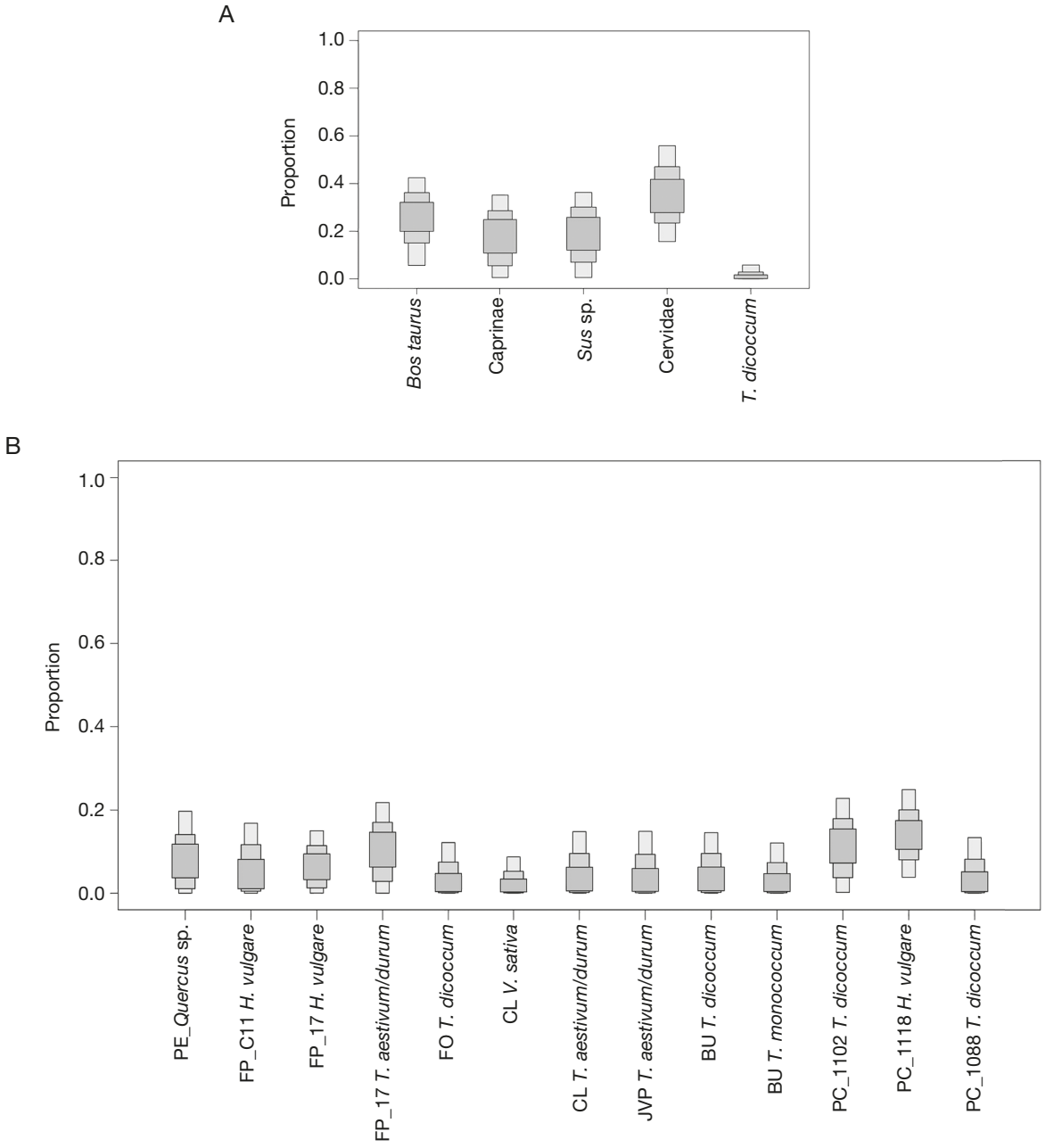


Fig. 5. — Modélisation alimentaire pour les individus de Fontbrégoua (transition Néolithique ancien et moyen) : **A**, modèle A, valeurs pour la viande et les végétaux locaux ; **B**, modèle B, valeurs pour les végétaux du Néolithique (ancien et moyen) du Sud de la France ; **groupe 1**, tous les sujets humains (Le Bras-Goude *et al.* 2010).

entre les différentes sources souligne la part importante des protéines animales, et en particulier des animaux sauvages, comme le cerf et le chevreuil, par rapport aux ressources végétales, tel que l'amidonnier (Fig. 5A). Ce résultat conforte les premières interprétations isotopiques et les études archéozoologiques proposées sur ce site, qui indiquent une occupation saisonnière de la grotte et l'exploitation importante des ressources animales, notamment sauvages, attestée par les rejets de boucherie (Helmer 1979 ; Villa *et al.* 1986). La comparaison ciblée sur l'ensemble des végétaux suggère que les plantes préférentiellement consommées pourraient être des céréales diverses et pas nécessairement l'amidonnier qui est pourtant attesté sur le site (Fig. 5B). Par ailleurs, au Cardial, les céréales sont bien représentées dans le spectre carpologique de Fontbrégoua, avec l'orge nue, le blé nu, l'amidonnier et l'engrain. Elles sont accompagnées par plusieurs légumineuses (gesse, lentille, vesce) et par une diversité de fruitiers sauvages parmi lesquels se détachent *Pinus* sp., *Quercus* sp. et *Vitis vinifera* L. (Savard 2000).

Enfin, un troisième groupe de modèles intègre les sujets humains du Néolithique moyen (Chasséen) des sites du Crès et du Pirou, dans l'Hérault. Ici également, plusieurs groupes sont étudiés séparément (deux groupes humains et les chiens), en fonction des données précédemment acquises qui indiquaient de possibles différences alimentaires et mobilités différentielles entre les sujets (Le Bras-Goude *et al.* 2009 ; Goude *et al.* 2012 ;

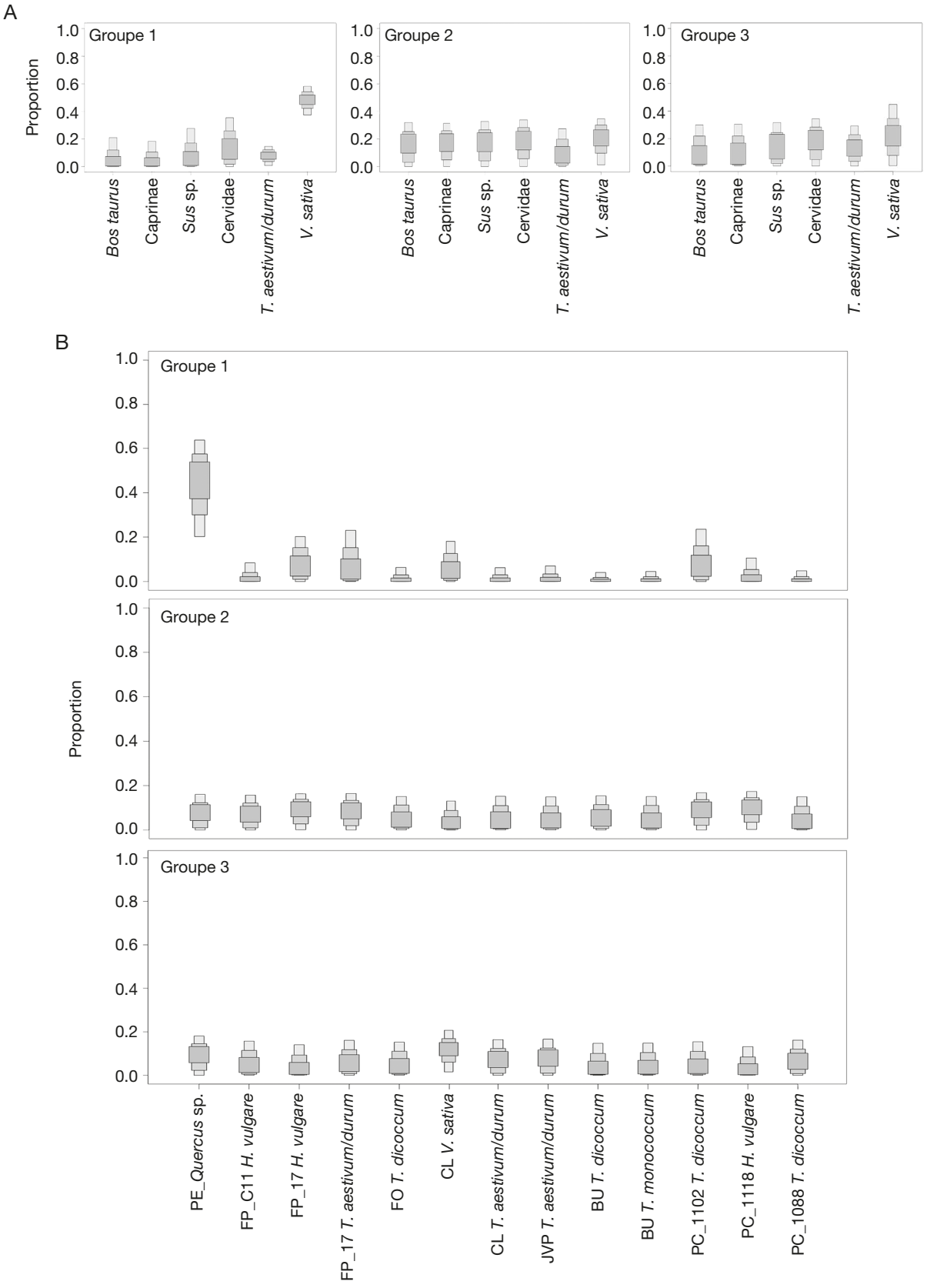


FIG. 6. — Modélisation alimentaire pour les individus du Crès et du Pirou (Chasséen) : **A**, modèle A, valeurs pour la viande et les végétaux locaux, incluant les données sur la vesce de Claparouse suite aux hypothèses formulées par Le Bras-Goude *et al.* 2009 ; **B**, modèle B, valeurs pour les végétaux du Néolithique (ancien et moyen) du Sud de la France : **groupe 1**, autres sujets du Crès et groupe B du Pirou ; **groupe 2**, sépulture 10b du Crès et sujets groupe A du Pirou (Gleize *et al.* 2019) ; **groupe 3**, chiens du Pirou.

Gleize *et al.* 2019) (Fig. 6). Le premier groupe correspond à des sujets humains pour lesquels il a été proposé, sur la base des données isotopiques du collagène osseux, une alimentation protéique incluant une part significative de végétaux. La modélisation propose que les légumineuses (telles que les vesces) aient constitué une part importante, voire très importante, des protéines de l'alimentation. En revanche, la contribution potentielle d'animaux sauvages (ici des cervidés) proposée par le modèle n'avait pas été précédemment évoquée (Le Bras-Goude *et al.* 2009 ; Gleize *et al.* 2019) (Fig. 6A). Le second groupe comprend des individus pour lesquels il a été initialement proposé, sur la base des données isotopiques du collagène osseux, une alimentation protéique plus mixte, incluant une part significative de protéines animales. Les résultats actuels confirment une contribution plus équitable et diversifiée, à la fois des ressources animales et végétales, confortant les premières interprétations isotopiques (Fig. 6A). Le modèle établi à partir des chiens suggère, quant à lui, un rôle plus important des légumineuses et des animaux sauvages dans leur alimentation par rapport aux autres ressources. Les résultats sur les chiens sont importants à prendre en considération, sachant que certains auteurs (e.g. Cannon *et al.* 1999) ont proposé d'utiliser leurs données isotopiques pour discuter l'alimentation humaine lorsque peu, voire aucun reste anthropologique n'est disponible. Comme observé par cette proposition de modélisation et synthétisé dans d'autres articles (e.g. Goude & Fontugne 2016), l'alimentation canine, du moins pour le Néolithique moyen du Sud de la France, n'est pas un indicateur très précis de l'alimentation humaine, mais peut indiquer de grandes tendances (e.g. marin vs terrestre). Pour l'ensemble des trois groupes, les céréales semblent avoir une contribution moins importante par rapport aux légumineuses et aux ressources animales. Lorsque l'ensemble des végétaux est pris en compte, le premier groupe aurait pu avoir consommé plus particulièrement des ressources végétales sauvages, telles que le gland, alors que les modèles pour les deux autres groupes indiquent un apport plus ou moins équivalent des différentes plantes cultivées ou sauvages (Fig. 6B). Ces nouvelles données renforcent les hypothèses précédemment émises : 1) sur la particularité de quelques individus du Crès et du Pirou (dont les $\delta^{15}N$ mesurés dans le collagène osseux sont parmi les plus bas enregistrés dans les sites néolithiques en France [Goude & Fontugne 2016]), qui pourraient être plus impliqués dans des activités spécialisées en lien avec le traitement des végétaux (*sensu lato*), comme en témoigne le mobilier de mouture présent dans certaines des sépultures du Crès (Loison *et al.* 2004) ; et 2) sur les ressources consommées par les chiens domestiques retrouvés dans les fosses sépulcrales, qui pourraient principalement provenir des refus alimentaires humains.

CONCLUSION

Les résultats de cette étude exploratoire montrent que les données isotopiques issues des restes carpologiques permettent de revoir les interprétations paléoalimentaires relatives aux premiers agropasteurs du Néolithique dans le Sud de la France, en réévaluant la contribution des végétaux dans l'apport protéique. Les données permettent notamment de discuter de la place de certaines ressources sauvages dans l'alimentation, en particulier les glands, dont le signal isotopique peut parfois se confondre avec celui des plantes fixatrices d'azote, comme les légumineuses.

Il est toutefois nécessaire de considérer que les interprétations proposées sur la base de ces modèles sont uniquement relatives aux ressources que nous avons pu intégrer dans ces derniers et ne doivent pas minimiser le rôle d'autres aliments non pris en compte, comme les ressources aquatiques ou d'autres ressources sauvages, végétales ou animales, non identifiées sur les sites archéologiques. De plus, l'utilisation des données archéobotaniques reste exploratoire et l'interprétation des résultats obtenus est soumise à plusieurs biais. En effet, les analyses isotopiques ont été réalisées sur une sélection parmi les restes carpologiques disponibles, qui est probablement encore loin de fournir une image complète de la variabilité des signaux isotopiques pour l'ensemble des plantes consommées par les néolithiques du Sud de la France. Les études carpologiques sur le Néolithique sont encore déficitaires dans la région et peu de grandes séries carpologiques sont disponibles. Certaines, issues de fouilles anciennes, sont difficilement exploitables. Les valeurs isotopiques sur les graines et les fruits dont nous disposons à l'issue de ce travail ne couvrent pas la totalité des plantes alimentaires attestées sur les sites. Elles sont issues de phases chronoculturelles, de situations géographiques et de conditions écologiques et paléo-climatiques variées, et l'influence de ces divers paramètres doit encore être mieux appréhendée. En outre, en un site donné, les pratiques agricoles (e.g. choix des terres cultivées, fertilisation) influent sur le signal isotopique pour les espèces cultivées. Il est donc nécessaire d'aborder en amont les divers facteurs (e.g. apport en eau, fertilisation) pouvant influencer les signaux isotopiques mesurés sur les restes carpologiques pour approfondir l'interprétation des données sur l'alimentation humaine émises par la modélisation. Cette étude souligne également le besoin d'augmenter le corpus, en termes de nombre d'échantillons, et de travailler à l'échelle locale. Cette approche est difficile à l'heure actuelle, car plusieurs des sites sur lesquels ont été découverts les restes humains n'ont pas fait l'objet d'étude carpologique, ou n'ont pas livré de graines et de fruits. Il faut alors rechercher des carporestes provenant de contextes contemporains à ceux des ossements humains ou animaux afin de limiter l'impact environnemental, mais également de prendre en compte les pratiques humaines pouvant exister au niveau du site.

Enfin, cette étude propose, pour la première fois en Méditerranée occidentale, un corpus de données isotopiques sur des végétaux issus des récoltes et des cueillettes des premiers agropasteurs installés dans la région. Ces données isotopiques ouvrent la perspective d'une nouvelle approche permettant de mieux caractériser les pratiques agricoles néolithiques, par ailleurs fort mal connues dans cette zone géographique. Les premiers résultats laissent penser que les cultures étaient régulièrement fertilisées, ce qui confirme des résultats isotopiques et carpologiques obtenus ailleurs en Europe (Bogaard *et al.*

2013 ; Styring *et al.* 2017 ; Aguilera *et al.* 2018 ; Alagich *et al.* 2018). Dans un second temps, ces données isotopiques sur le végétal permettent de rééquilibrer les contributions relatives entre plantes et animaux dans l'alimentation humaine. Cette nouvelle documentation prend un intérêt particulier pour les premières sociétés agropastorales, pour lesquelles beaucoup de questions restent encore en suspens en Méditerranée. La diversité des ressources consommées et l'apport des ressources marines fait partie de ces questions. Ces dernières ont été mises en évidence sur plusieurs sites côtiers du Sud de la France et en Ligurie grâce à des études ichtyologiques et malacologiques (e.g. Desse et Desse-Berset), ou encore grâce à l'analyse des résidus de poterie (Craig *et al.* 2013). Il est également possible de retrouver des témoignages de consommation de poisson par l'étude des micro-restes du tartre dentaire (Cristiani *et al.* 2018). Toutefois, les premières investigations menées dans le Sud-Est de la France à partir de ces deux approches n'ont pas encore révélé de consommation claire de ressources aquatiques (marine ou d'eau douce). Si le développement de nouvelles méthodes, comme l'analyse des microrestes contenus dans le tartre dentaire (R. Power *in* Goude *et al.* 2019, 2020), ou encore l'analyse des phytolithes des couches archéologiques (Delhon *et al.* 2019), contribuent à mettre en lumière la diversité des plantes ayant pu être consommées, les données isotopiques des carporestes peuvent offrir des informations de tout premier ordre sur les conditions environnementales et techniques dans lesquelles ces plantes ont été produites, informations indispensables pour interpréter les données isotopiques humaines.

Remerciements

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'un Master 2 (FG ; 2017-2018) à l'ISEM (encadrement LB), Université de Montpellier en partenariat avec l'UMR 7269 LAMPEA Aix-en-Provence (co-encadrement GG). Ce travail s'insère dans un projet financé par l'Institut Danone France/Fondation pour la Recherche Médicale 2015 (Women and diet at the beginning of farming, 5th-3rd millennium BC, France: a bio-anthropological approach ; Dir. G. Goude 2016-2017 ; http://institutdanone.org/nos-prix/femmes-alimentation-les-premieres-societes-agropastorales-ve-iiie-millenaires-av-j-c-france-approche-bio-anthropologique/). Nous exprimons toute notre reconnaissance à Jean Courtin pour nous avoir permis d'analyser le matériel des sites de Fontbrégoua et de la Font-aux-Pigeons dont il a dirigé les fouilles. Nous remercions également S. Bernardini pour son assistance technique sur la plateforme de biochimie du LAMPEA. Nous tenons aussi à remercier les trois reviewers anonymes de cet article, ainsi que l'éditeur associé, Marcel Otte, pour leurs commentaires.

RÉFÉRENCES

AGUILERA M., ZECH-MATTERNE V., LEPETZ S. & BALASSE M. 2018. — Crop fertility conditions in North-Eastern Gaul during the La Tène and Roman periods: a combined stable isotope analysis of archaeobotanical and archaeozoological remains. *Environmental Archaeology* 23 (4): 323-337. https://doi.org/10.1080/14614103.2017.1291563

ALAGICH R., GARDEISEN A., ALONSO N., ROVIRA N. & BOGAARD A. 2018. — Using stable isotopes and functional weed ecology to explore social differences in early urban contexts: the case of Lattara in mediterranean France. *Journal of Archaeological Science* 93: 135-149. https://doi.org/10.1016/j.jas.2018.03.006

ALEGRIA C., ANTUNES C., GIOVANETTI M., ABREU M. & MÁGUAS C. 2020. — Acorn isotopic composition: a new promising tool for authenticity maps of montado's high-value food products. *Molecules* 25 (7): 1535. https://doi.org/10.3390/molecules25071535

ALONSO N., PÉREZ JORDÀ G., ROVIRA N. & LÓPEZ REYES D. 2016. — Gathering and consumption of wild fruits in the east of the Iberian Peninsula from the 3rd to the 1st millennium BC. *Quaternary International* 404 (Part A): 69-85. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.07.021

AMUNDSON R., AUSTIN A. T., SCHUUR E. A. G., YOO K., MATZEK V., KENDALL C., UEBERSAX A., BRENNER D. & BAISDEN W. T. 2003. — Global patterns of the isotopic composition of soil and plant nitrogen. *Global Biogeochemical Cycles* 17 (1): 1-5. https://doi.org/10.1029/2002GB001903

ANTOLÍN F. 2016. — *Local, Intensive and Diverse?: Early Farmers and Plant Economy in the North-East of the Iberian Peninsula (5500-2300 cal BC)*. Vol. 2. Barkhuis, Eelde, 511 p.

ANTOLÍN F. & JACOMET S. 2015. — Wild fruit use among early farmers in the Neolithic (5400–2300 cal BC) in the north-east of the Iberian Peninsula: an intensive practice? *Vegetation History and Archaeobotany* 24: 19-33. https://doi.org/10.1007/s00334-014-0483-x

ARAUS J. L., FEBRERO A., BUXÓ R., CAMALICH M. D., MARTÍN D., MOLINA F., RODRIGUEZ-ARIZA M. O. & ROMAGOSA I. 1997. — Changes in carbon isotope discrimination in grain cereals from different regions of the western Mediterranean Basin during the past seven millennia. Palaeoenvironmental evidence of a differential change in aridity during the late Holocene. *Global Change Biology* 3 (2): 107-118. https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.1997.00056.x

BATTENTIER J., THIÉBAULT S., BINDER D., THÉRY-PARISOT I., CARRÉ A. & DELHON C. 2015. — L'abri Pendimoun (Castellar, Alpes-Maritimes): nouvelles données sur l'évolution du couvert forestier et l'exploitation du milieu au Néolithique (5800-2000 ans cal. BCE). *Quaternaire* 26 (4): 279-292. https://doi.org/10.4000/quaternaire.7417

BINDER D. 1987. — Le Néolithique ancien provençal: typologie et technologie des outillages lithiques. *Suppléments à Gallia préhistoire* 24, 206 p.

BINDER D., BROCHIER J. E., DUDAY H., HELMER D., MARINVAL P., THIÈBAULT S. & WATTEZ J. 1993. — L'abri Pendimoun à Castellar (Alpes-Maritimes) : nouvelles données sur le complexe culturel de la céramique imprimée méditerranéenne dans son contexte stratigraphique. *Gallia Préhistoire* 35: 177-251. https://doi.org/10.3406/galip.1993.2087

BINDER D., BATTENTIER, DELHON C. & SÉNÉPART I. 2017. — In pursuit of a missing transition: the Mesolithic and Neolithic radiocarbon chronology at La Font-aux-Pigeons rockshelter. *Antiquity* 91 (357): 605-620. https://doi.org/10.15184/aqy.2017.65

BINDER D., BATTENTIER J., BOUBY L., BROCHIER J. E., CARRÉ A., CUCCHI T., DELHON C., DE STEFANIS C., DRIEU L., EVIN A., GIRDLAND FLINK L., GOUDE G., GOURICHON L., GUILLON S., HAMON C. & THIÉBAULT S. 2020. — First farming in the North-Western Mediterranean: Evidence from Castellar – Pendimoun during the 6th mill. BCE, *in* GRON K., SORENSEN L. & ROWLEY-CONWY P. (eds), *Farmers at the Frontier: A Pan European Perspective on Neolithisation*. Oxbow books, Oxford: 145-159.

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): 46-53. https://doi.org/10.1002/oa.662

Bogaard A., Heaton T. H. E., Poulton P. & Merbach I. 2007. — The impact of manuring on nitrogen isotope ratios in cereals: archaeological implications for reconstruction of diet and crop management practices. *Journal of Archaeological Science* 34 (3): 335-343. https://doi.org/10.1016/j.jas.2006.04.009

Bogaard A., Fraser R., Heaton T. H., Wallace M., Vaiglova P., Charles M., Jones G., Evershed R. P., Styring A. K., Andersen N. H., Arbogast R. M., Bartosiewicz L., Gardeisen A., Kanstrup M., Maier U., Marinova E., Ninov L., Schäfer M. & Stephan E. 2013. — Crop manuring and intensive land management by Europe's first farmers. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110 (31): 12589-12594. https://doi.org/10.1073/pnas.1305918110

Bol R., Eriksen J., Smith P., Garnett M. H., Coleman K. & Christensen B. T. 2005. — The natural abundance of 13C, 15N, 34S and 14C in archived (1923–2000) plant and soil samples from the Askov long-term experiments on animal manure and mineral fertilizer. *Rapid Communications in mass spectrometry* 19 (22): 3216-3226. https://doi.org/10.1002/rcm.2156

Bouby L. 2014. — *Agriculture dans le bassin du Rhône du Bronze final à l'Antiquité. Agrobiodiversité, économie, cultures*. Archives d'Écologie Préhistorique, Toulouse, 335 p.

Bouby L. & Léa V. 2006. — Exploitation de la vesce commune (*Vicia sativa* L.) au Néolithique moyen dans le Sud de la France. Données carpologiques du site de Claparouse (Lagnes, Vaucluse). *Comptes Rendus Palevol* 5 (8): 973-980. https://doi.org/10.1016/j.crpv.2006.07.007

Bouby L., Dietsch-Sellami M. F., Martin L., Marinval P. & Wiethold J. 2018. — Ressources végétales et économie de subsistence au Néolithique en France (6000-2000 av. J.-C.), *in* Guilaine J. & Garcia D. (dir.), *La Protohistoire de la France*. Hermann, Paris: 141-152.

Bouby L., Durand F., Rousselet O. & Manen C. 2019. — Early farming economy in Mediterranean France: fruit and seed remains from the Early to Late Neolithic levels of the site of Taï (ca 5300–3500 cal BC). *Vegetation History and Archaeobotany* 28 (1): 17-34. https://doi.org/10.1007/s00334-018-0683-x

Bouby L., Marinval P., Durand F., Figueiral I., Briois F., Martzluff M., Perrin T., Valdeyron N., Vaquer J., Guilaine J. & Manen C. 2020. — Early Neolithic (ca. 5850-4500 cal BC) agricultural diffusion: An update of archaeobotanical data in South-Western France. *PLoS ONE* 15 (4): e0230731. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230731

Cannon A., Schwarcz H. P. & Knyf M. 1999. — Marine-based subsistence trends and the stable isotope analysis of dog bones from Namu, British Columbia. *Journal of Archaeological Science* 26 (4): 399-407. https://doi.org/10.1006/jasc.1998.0341

Colledge S. & Conolly J. 2014. — Wild plant use in European Neolithic subsistence economies: a formal assessment of preservation bias in archaeobotanical assemblages and the implications for understanding changes in plant diet breadth. *Quaternary Science Reviews* 101: 193-206. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.07.013

Courtin J., Evin J. & Thommeret. Y. 1985. — Révision de la stratigraphie et de la chronologie absolue du site de Châteauneuf-lès-Martigues (Bouches-du-Rhône). *L'Anthropologie* 89 (4): 543-556.

Craig O., Saul H., Lucquin A., Nishida Y., Taché K., Clarke L., Thompson A., Altoft D. T., Uchiyama J., Ajimoto M., Gibbs K., Isaksson S., Heron C. P. & Jordan P. 2013. — Earliest evidence for the use of pottery. *Nature* 496: 351-354. https://doi.org/10.1038/nature12109

Cristiani E., Radini A., Borić D., Robson H., Caricola I., Carra M., Mutri G., Oxilia G., Zupancich A., Šlaus M. & Vujević D. 2018. — Dental calculus and isotopes provide direct evidence of fish and plant consumption in Mesolithic Mediterranean. *Scientific Report* 8: 8147. https://doi.org/10.1038/s41598-018-26045-9

Delhon C., Binder D., Verdin P. & Mazuy A. 2019. — Phytoliths as a seasonality indicator? The example of the Neolithic site of Pendimoun, South-Eastern France. *Vegetation History and Archaeobotany* 29 (2): 229-240. https://doi.org/10.1007/s00334-019-00739-0

DeNiro M. J. & Epstein S. 1978. — Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 42 (5): 495-506. https://doi.org/10.1016/0016-7037(78)90199-0

DeNiro M. J. & Epstein S. 1981. — Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 45 (3): 341-351. https://doi.org/10.1016/0016-7037(81)90244-1

Eyer M., Leuenberger M., Nyfeler P. & Stocker T. 2004. — Comparison of two δ^{13} CO_2 records measured on air from the EPICA Dome C and Kohnen Station ice cores. *Geophysical Research Abstracts* 6 (1): 990.

Farquhar G. D., O'Leary M. H. & Berry J. A. 1982. — On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves. *Functional Plant Biology* 9 (2): 121-137. https://doi.org/10.1071/PP9820121

Ferrio J. P., Araus J. L., Buxó R., Voltas J. & Bort B. 2005. — Water management practices and climate in ancient agriculture: inferences from the stable isotope composition of archaeobotanical remains. *Vegetation History and Archaeobotany* 14 (4): 510-517. https://doi.org/10.1007/s00334-005-0062-2

Ferrio J. P., Voltas J., Alonso N. & Araus J. L. 2007. — Reconstruction of climate and crop conditions in the past based on the carbon isotope signature of archaeobotanical remains. *Terrestrial Ecology* 1: 319-332. https://doi.org/10.1016/S1936-7961(07)01020-2

Fiorentino G., Caracuta V., Casiello G., Longobardi F. & Sacco A. 2012. — Studying ancient crop provenance: implications from δ^{13}C and δ^{15}N values of charred barley in a Middle Bronze Age silo at Ebla (NW Syria). *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 26 (3): 327-335. https://doi.org/10.1002/rcm.5323

Flohr P., Müldner G. & Jenkins E. 2011. — Carbon stable isotope analysis of cereal remains as a way to reconstruct water availability: preliminary results. *Water History* 3 (2): 121. https://doi.org/10.1007/s12685-011-0036-5

Francey R. J., Allison C. E., Etheridge D. M., Trudinger C. M., Enting I. G., Leuenberger M., Langenfelds R. L., Michel E. & Steele L. P. 1999. — A 1000-year high precision record of δ^{13}C in atmospheric CO_2. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology* 51 (2): 170-193. https://doi.org/10.3402/tellusb.v51i2.16269

Fraser R. A., Bogaard A., Heaton T. H. E., Charles M., Jones G., Christensen B. T., Halstead P., Merbach I., Poulton P. R., Sparkes D. & Styring A. K. 2011. — Manuring and stable nitrogen isotope ratios in cereals and pulses: towards a new archaeobotanical approach to the inference of land use and dietary practices. *Journal of Archaeological Science* 38 (10): 2790-2804. https://doi.org/10.1016/j.jas.2011.06.024

Fraser R. A., Bogaard A., Charles M., Styring A. K., Wallace M., Jones G., Ditchfield P. & Heaton T. H. E. 2013. — Assessing natural variation and the effects of charring, burial and pre-treatment on the stable carbon and nitrogen isotope values of archaeobotanical cereals and pulses. *Journal of Archaeological Science* 40 (12): 4754-4766. https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.01.032

Galan A. 1967. — La station néolithique de la Perte du Cros à Saillac (Lot). *Gallia-Préhistoire* 10 (1): 1-73. https://doi.org/10.3406/galip.1967.2192

Gernigon K., Fouéré P., Saint-Sever G. & Vergnaud L. 2008. — La Perte du Cros (Saillac, Lot) et les termes de passage du Néolithique final à l'Âge du bronze en bordure occidentale du Massif central. *Bulletin de la Société Préhistorique Française* 105 (3): 479-499. https://doi.org/10.3406/bspf.2008.13756

Gleize Y., Goude G., Gandelin M. & Herrscher E. 2019. — Les inhumations chasséennes du Pirou et de Vigne de Bioaux (Valros,

Hérault) : un recrutement spécifique en contexte d'habitat ? *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris* 31: 113-128.
Goude G. 2007. — *Étude des modes de subsistance de populations néolithiques (VIe-IVe millénaires av. J.-C.) dans le nord-ouest de la Méditerranée. Approche par l'utilisation des isotopes stables (δ13C et δ15N) du collagène.* Thèse de doctorat, Université Bordeaux 1, Bordeaux – Université de Leipzig, Talence-Leipzig, 415 p.
Goude G. & Fontugne M. 2016. — Carbon and nitrogen isotopic variability in bone collagen during the Neolithic period: Influence of environmental factors and diet. Journal of Archaeological Science 70: 117-131. https://doi.org/10.1016/j.jas.2016.04.019
Goude G. & Herrscher E. 2018. — Étude isotopique des restes osseux du Champ du Poste : discussion sur l'alimentation humaine au Néolithique moyen, *in* Convertini F. & Georjon C. (eds), *Le Champ du Poste (Carcassonne, Aude) Une succession d'occupations du début du Néolithique moyen à l'âge du Bronze ancien*. AEP/Inrap, Toulouse: 327-334.
Goude G., Müller K., Buscaglia F. & Reiche I. 2011. — Étude isotopique (δ13C, δ15N) et de l'état de conservation d'anciennes collections anthropologiques. Le cas de la grotte Pollera (Ligurie, Italie). *ArchéoSciences, Revue d'Archéométrie* 35: 223-233. https://doi.org/10.4000/archeosciences.3252
Goude G., Castroni F., Herrscher E., Cabut S. & Tafuri M. A. 2012. — First Strontium isotopic evidence of mobility in the Neolithic of Southern France. *European Journal of Archaeology* 15 (3): 421-439. https://doi.org/10.1179/1461957112Y.0000000017
Goude G., Schmitt A., Herrscher E., Loison G., Cabut S. & André G. 2013. — Pratiques alimentaires au Néolithique moyen : Nouvelles données sur le site de Pontcharaud 2 (Auvergne, France). *Bulletin de la Société Préhistorique Française* 110 (2): 299-317. https://doi.org/10.3406/bspf.2013.14262
Goude G., Salazar-Garcia DC, Power R., Terrom J., Rivollat M., Deguilloux M. F., Pemonge M. H., Le Bailly M., André G., Coutelas A. & Hauzeur A. 2019. — A multidisciplinary approach to Neolithic life reconstruction. *Journal of Archaeological Method and Theory* 26 (2): 537-560. https://doi.org/10.1007/s10816-018-9379-x
Goude G., Salazar-García D. C., Power R. C., Rivollat M., Gourichon L., Deguilloux M. F., Pemonge M. H., Bouby L. & Binder D. 2020. — New insights on Neolithic food pattern in Mediterranean coastal populations. *American Journal of Physical Anthropology* 173 (2): 2018-235. https://doi.org/10.1002/ajpa.24089
Heaton T. H. 1999. — Spatial, species, and temporal variations in the 13C/12C ratios of C3 plants: implications for palaeodiet studies. *Journal of Archaeological Science* 26 (6): 637-649. https://doi.org/10.1006/jasc.1998.0381
Hedges R. E., Clement J. G., Thomas C. D. L. & O'Connell T. C. 2007. — Collagen turnover in the adult femoral mid-shaft: Modeled from anthropogenic radiocarbon tracer measurements. *American Journal of Physical Anthropology* 133 (2): 808-816. https://doi.org/10.1002/ajpa.20598
Helmer D. 1979. — *Recherche sur l'économie alimentaire et l'origine des animaux domestiques d'après l'étude des mammifères pso-paléolithiques (du Mésolithique à l'Age du Bronze) en Provence*. Thèse de doctorat, Université du Languedoc, Montpellier, 332 p.
Indermühle A., Stocker T. F., Joos F., Fischer H., Smith H. J., Wahlen M., Deck B., Mastroianni D., Tschumi J., Blunier T., Meyer R. & Stauffer B. 1999. — Holocene carbon-cycle dynamics based on CO_2 trapped in ice at Taylor Dome, Antarctica. *Nature* 398 (6723): 121-126. https://doi.org/10.1038/18158
Jalut G., Amat A. E., Bonnet L., Gauquelin T. & Fontugne M. 2000. — Holocene climatic changes in the Western Mediterranean, from south-east France to south-east Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 160 (3-4): 255-290.
Koenig W. D., Schaefer D. J., Mambelli S. & Dawson T. E. 2008. — Acorns, insects, and the diet of adult versus nestling acorn woodpeckers. *Journal of Field Ornithology* 79 (3): 280-285. https://doi.org/10.1111/j.1557-9263.2008.00174.x
Léa V., Georjon C., Lepère C., Sénépart I. & Thirault E. 2004. — Chasséen vauclusien qui es-tu ? *in* Buisson-Catil J., Guilcher A., Hussy C., Olive M. & Pagni M. (dirs), *Vaucluse préhistorique ; le territoire, les hommes les cultures et les sites*. Éditions Barthélemy, Avignon: 163-200.
Le Bras-Goude G., Binder D., Formicola V., Duday H., Couture-Veschambre C., Hublin, J.-J. & Richards M. P. 2006a. — Stratégies de subsistance et analyse culturelle de populations néolithiques de Ligurie : approche par l'étude isotopique (δ13C et δ15N) des restes osseux. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris* 18 (1-2): 45-55.
Le Bras-Goude G., Binder D., Simon P. & Richards M. P. 2006b. — L'homme du Rastel (Peillon, Alpes-Maritimes, France) : nouvelles données isotopiques (δ13C et δ15N), radiométriques et archéologiques. *Bulletin du Musée d'Anthropologie préhistorique de Monaco* 46: 84-87.
Le Bras-Goude G., Schmitt A. & Loison G. 2009. — Comportements alimentaires, aspects biologiques et sociaux au Néolithique : le cas du Crès (Hérault, France). *Comptes Rendus Palevol* 8 (1): 79-91. https://doi.org/10.1016/j.crpv.2008.10.007
Le Bras-Goude G., Binder D., Zemour A. & Richards M. P. 2010. — New radiocarbon dates and isotope analysis of Neolithic human and animal bone from Fontbrégoua Cave (Salernes, Var, France). *Journal of Anthropological Sciences* 88: 167-178.
Lebreton V., Théry-Parisot I., Bouby L., Chrzavzez J., Delhon C. & Ruas M. P. 2017. — Archéobotanique et taphonomie, *in* Brugal J. P. (dir.), *TaphonomieS*. Éditions des archives contemporaines, Paris: 291-328.
Leuenberger M., Siegenthaler U. & Langway C. 1992. — Carbon isotope composition of atmospheric CO_2 during the last ice age from an Antarctic ice core. *Nature* 357 (6378): 488-490. https://doi.org/10.1038/357488a0
Loison G., Fabre V. & Villemeur I. 2004. — *Le Crès. Habitats préhistoriques en bordure de l'Orb. Structures domestiques et sépulture du Chasséen ancien. Rapport final d'opération*. Inrap, Montpellier, 304 p.
Marinval P. 1993. — Analyse carpologique du Roc de Dourgne, *in* Guilaine J. (ed.), *Dourgne : derniers chasseurs-collecteurs et premiers éleveurs de la haute vallée de l'Aude*. Centre d'anthopologie des sociétés rurales, Toulouse – Archéologie en terre d'Aude, Carcassonne: 415-416.
Marinval P. 2008. — Analyse carpologique, *in* Coularou J., Jallet F., Colomer A. & Balbure J. (dirs), *Boussargues, une enceinte chalcolithique des garrigues du Sud de la France*. Archives d'Écologie Préhistorique, Toulouse: 181-198.
Martin L., Bouby L., Marinval P., Dietsch-Sellami M. F., Rousselet O., Cabanis M., Durand F. & Figueiral I. 2016. — L'exploitation des ressources végétales durant le Chasséen : un bilan des données carpologiques en France entre 4400 et 3500 avant notre ère, *in* Perrin T., Chambon P., Gibaja Bao J. F. & Goude G. (eds), *Le Chasséen, des Chasséens… Retour sur une culture nationale et ses parallèles : Sépulcres de fossa, Cortaillod, Lagozza. Actes du colloque international tenu à Paris (France) du 18 au 20 novembre 2014*. Archives d'Écologie Préhistorique, Toulouse: 259-272.
Masi A., Sadori L., Restelli F. B., Baneschi I. & Zanchetta G. 2014. — Stable carbon isotope analysis as a crop management indicator at Arslantepe (Malatya, Turkey) during the Late Chalcolithic and Early Bronze Age. *Vegetation history and archaeobotany* 23 (6): 751-760. https://doi.org/10.1007/s00334-013-0421-3
Mauri A., Davis B. A. S., Collins P. M. & Kaplan J. O. 2015. — The climate of Europe during the Holocene: a gridded pollen-based reconstruction and its multi-proxy evaluation. *Quaternary Science Reviews* 112: 109-127. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.01.013
Nitsch E. K., Charles M. & Bogaard A. 2015. — Calculating a statistically robust δ13C and δ15N offset for charred cereal and pulse seeds. *STAR: Science & Technology of Archaeological Research* 1 (1): 1-8. https://doi.org/10.1179/2054892315Y.0000000001

Parnell A. & Jackson A. 2013. — *SIAR: Stable Isotope Analysis in R V. 4.2*. Online resource: https://cranr-projectorg/web/packages/siar/siar.pdf.

Parnell A., Inger R., Bearhop S. & Jackson A. L. 2008. — *SIAR: Stable isotope analysis in R*. Online ressource: https://cran.r-project.org/web/packages/siar/index.html (site visité en mai 2019).

Peyron O., Goring S., Dormoy I., Kotthoff U., Pross J., de Beaulieu J. L., Drescher-Schneider R., Vannière B. & Magny M. 2011. — Holocene seasonality changes in the central Mediterranean region reconstructed from the pollen sequences of Lake Accesa (Italy) and Tenaghi Philippon (Greece). *The Holocene* 21 (1): 131-146. https://doi.org/10.1177/0959683610384162

R Development Core Team 2011. — *R: a Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria*. https://www.r-project.org/ (site consulté en mai 2019).

Rey L., Goude G. & Rottier S. 2017. — Comportements alimentaires au Néolithique : nouveaux résultats dans le Bassin parisien à partir de l'étude isotopique ($\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$) de la nécropole de Gurgy « Les Noisats » (Yonne, Ve millénaire av. J.-C.). *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris* 29: 54-69.

Ruas M. P. & Marinval P. 1991. — Alimentation végétale et agriculture d'après les semences archéologiques (de 9000 av. J.-C. au xv^{e} siècle), *in* Guilaine J. (ed.), *Pour une archéologie agraire*. Armand Colin, Paris: 409-439.

Savard M. 2000. — *Étude de l'assemblage carpologique de la Baume de Fontbrégoua (Var) du Paléolithique final au Chasséen récent*. Diplôme d'études approfondies, Université de Paris-Panthéon-Sorbonne, Paris – Université de Paris 10, Nanterre, 60 p.

Styring A. K., Manning H., Fraser R. A., Wallace M., Jones G., Charles M., Heaton T. H. E., Bogaard A. & Evershed R. P. 2013. — The effect of charring and burial on the biochemical composition of cereal grains: investigating the integrity of archaeological plant material. *Journal of Archaeological Science* 40 (12): 4767-4779. https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.03.024

Styring A. K., Fraser R. A., Arbogast R. M., Halstead P., Isaakidou V., Pearson J. A., Schäfer M., Triantaphyllou S., Valamoti S. M., Wallace M., Bogaard A. & Evershed R. P. 2015. — Refining human palaeodietary reconstruction using amino acid $\delta^{15}N$ values of plants, animals and humans. *Journal of Archaeological Science* 53: 504-515. https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.11.009

Styring A., Rösch M., Stephan E., Stika H. P., Fischer E., Sillmann M. & Bogaard A. 2017. — Centralisation and long-term change in farming regimes: Comparing agricultural practices in Neolithic and Iron Age south-west Germany. *Proceedings of the Prehistoric Society* 83: 357-381. https://doi.org/10.1017/ppr.2017.3

Schoeninger M. J. & DeNiro M. J. 1984. — Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48 (4): 625-639. https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90091-7

Vaiglova P., Snoeck C., Nitsch E., Bogaard A. & Lee-Thorp J. 2014. — Impact of contamination and pre-treatment on stable carbon and nitrogen isotopic composition of charred plant remains. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 28 (23): 2497-2510. https://doi.org/10.1002/rcm.7044

Valentin J. 2002. — Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: references values: ICRP Publication 89. *Annals of the ICRP* 32 (3-4), 277 p.

Vignaud A. (dir.) 1999. — *Les jardins de Vert Parc, Castelnau-le-Lez, 34. Un habitat Néolithique moyen de culture chasséenne, DFS.* AFAN, Castelnau-le-Lez, 94 p.

Villa P., Courtin J., Helmer D., Shipman P., Bouville C. & Mahieu E. 1986. — Un cas de cannibalisme au Néolithique. Boucherie et rejet de restes humains et animaux dans la grotte de Fontbrégoua à Salernes (Var). *Gallia Préhistoire* 29 (1): 143-171. https://doi.org/10.3406/galip.1986.2243

Virginia R. A. & Delwiche C. C. 1982. — Natural 15N abundance of presumed N2-fixing and non-N2-fixing plants from selected ecosystems. *Oecologia* 54 (3): 317-325. https://doi.org/10.1007/BF00380000

Wallace M., Jones G., Charles M., Fraser R., Halstead P., Heaton T. H. & Bogaard A. 2013. — Stable carbon isotope analysis as a direct means of inferring crop water status and water management practices. *World Archaeology* 45 (3): 388-409. https://doi.org/10.1080/00438243.2013.821671

Soumis le 16 mai 2020 ;
accepté le 31 décembre 2020 ;
publié le 16 mai 2022.