

Varalli A. (2026) – Pratiques alimentaires et transformations socio-économiques à l'âge du Bronze en Europe occidentale : synthèse comparative des données isotopiques humaines et animales [Dietary practices and socio-economic transformations during the Western European Bronze Age: a comparative synthesis of human and animal isotopic data], *Bulletin de la Société préhistorique française*, 123, 2, p. 269-312.

Pratiques alimentaires et transformations socio-économiques à l'âge du Bronze en Europe occidentale : synthèse comparative des données isotopiques humaines et animales

Dietary practices and socio-economic transformations during the Western European Bronze Age: a comparative synthesis of human and animal isotopic data

Alessandra VARALLI

Résumé : L'âge du Bronze en Europe occidentale se caractérise par le développement de sociétés de plus en plus hiérarchisées, où l'évolution des pratiques agricoles et alimentaires reflète à la fois continuité et innovations face aux changements environnementaux et sociaux. Cette recherche propose la première synthèse des données isotopiques humaines et animales visant à reconstituer les régimes alimentaires de cette période.

Les données isotopiques humaines et animales pour l'Italie, la France, la Suisse et l'Espagne met en évidence, au Bronze ancien, une forte homogénéité des régimes alimentaires, fondés sur des ressources terrestres dominées par les plantes en C₃, complétées par des apports animaux, tandis que les ressources aquatiques restent marginales. À partir du Bronze moyen, et plus nettement au Bronze final, une augmentation progressive des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ traduit l'introduction des plantes en C₄, principalement le millet, marquant une diversification croissante des pratiques alimentaires et une variabilité accrue à l'échelle inter- et intra-site. Cette transformation apparaît précoce et marquée en Italie, plus tardive au nord des Alpes, et demeure limitée dans la péninsule Ibérique où les signatures isotopiques restent globalement stables. Parallèlement, les variations de $\delta^{15}\text{N}$ indiquent des modifications dans la contribution et la nature des protéines animales, avec notamment une augmentation de la part de viande porcine dans certains contextes, reflétant des stratégies agro-pastorales diversifiées. Les données isotopiques ne révèlent pas de relation systématique entre alimentation et statut social, suggérant des régimes globalement partagés au sein des communautés.

L'ensemble des résultats met en évidence un modèle de diffusion différenciée du millet et une transformation progressive des systèmes agropastoraux, fondée sur la diversification des cultures et une adaptation régionale aux contraintes environnementales et socio-économiques.

Dans cette perspective, l'âge du Bronze apparaît comme une période charnière marquée par une diversification progressive des systèmes de subsistance, fondée sur l'intégration de nouvelles cultures, le développement de systèmes agricoles plus flexibles et une adaptation différenciée aux contraintes environnementales et socio-économiques à l'échelle régionale.

Mots-clés : alimentation, biogéochimie isotopique, carbone, azote, France, Italie, Suisse, Espagne.

Abstract: The Bronze Age in Western Europe is characterized by the development of increasingly hierarchical societies, in which changes in agricultural and dietary practices reflect both continuity and innovation in response to

Article reçu le 24 septembre 2025, accepté le 7 mai 2026, publié le 30 juin 2026.

environmental and social transformations. This study presents the first synthesis of human and animal isotopic data aimed at reconstructing dietary patterns during this period.

Isotopic data from Italy, France, Switzerland, and Spain reveal that, during the Early Bronze Age, diets were highly homogeneous and primarily based on terrestrial resources dominated by C_3 plants, supplemented by animal protein, while aquatic resources remained marginal. From the Middle Bronze Age onwards, and more clearly during the Late Bronze Age, a progressive increase in $\delta^{13}C$ values indicates the introduction of C_4 plants, mainly millet. This shift reflects a growing diversification of dietary practices and increased variability at both inter- and intra-site scales. This transformation appears early and pronounced in Italy, later north of the Alps, and remains limited in the Iberian Peninsula, where isotopic signatures remain relatively stable.

At the same time, variations in $\delta^{15}N$ values indicate changes in the contribution and nature of animal protein, including an increased consumption of pork in some contexts, reflecting diverse agro-pastoral strategies. Isotopic data do not show a systematic relationship between diet and social status, suggesting broadly shared dietary practices within communities.

Overall, the results highlight a differentiated pattern in the spread of millet and a gradual transformation of agropastoral systems, based on crop diversification and regional adaptation to environmental and socio-economic constraints. In this perspective, the Bronze Age emerges as a pivotal period marked by the progressive diversification of subsistence systems, the integration of new crops, and the development of more flexible agricultural strategies.

Keywords: diet, isotopic biogeochemistry, carbon, nitrogen, France, Italy, Switzerland, Spain.

L'âge du Bronze (env. 2300-800 av. n. è.) en Europe occidentale correspond à une période de profondes transformations, caractérisée notamment par le développement des technologies liées à la métallurgie du bronze et de ses alliages, par une évolution des modes de production alimentaire et par une complexification progressive des structures sociales (Bietti Sestieri, 2010 ; Heyd, 2013). L'interprétation des vestiges archéologiques de cette période d'un point de vue anthropologique, social et environnemental est parfois difficile, ce qui invite à réexaminer plusieurs problématiques majeures, telles que l'impact des activités artisanales – notamment métallurgiques – sur l'environnement, les modalités d'organisation des groupes humains, ou encore le rôle des fluctuations climatiques holocènes. Ainsi, plusieurs questions se posent autour des changements des systèmes de production qui sous-tendent une complexification croissante des sociétés dans lesquelles la séparation des rôles due à la spécialisation des activités dans le domaine artisanal et l'intensification des réseaux d'échanges conduisent à des formes de richesses renforcées avec la mise en place des premières sociétés proto-urbaines (Kristiansen et Larsson, 2005). Notamment à partir du Bronze moyen/récent, une croissance démographique importante est mise en évidence dans plusieurs régions européennes, comme dans le nord de la France ou le nord de l'Italie (Peake *et al.*, 2017 ; Bernabò Brea *et al.* 1997). Par exemple, entre les ^{xvii} et ^{xii} siècles av. n. è., dans la partie méridionale de la plaine du Pô, en Émilie-Romagne, se développe la civilisation des Terramare (Santa Rosa di Poviglio, Montale, Baggiovàra) : à la suite de la colonisation et de la déforestation de nouvelles terres, de nouveaux habitats apparaissent caractérisés par leur taille importante et leur longue durée d'occupation (Bernabò Brea *et al.*, 1997). En effet, la croissance démographique affecte les espaces environnants, qui évoluent vers des paysages fortement anthropisés, caractérisés par une mosaïque de champs céréaliers et de pâturages, tandis que les formations boisées deviennent plus restreintes, en périphérie des zones

The Bronze Age (c. 2300–800 BCE) in Western Europe was a period of profound social, economic, and technological transformation. It was marked by the development of bronze metallurgy and alloying technologies, changes in food production systems and the progressive emergence of increasingly complex social organization (Bietti Sestieri, 2010; Heyd, 2013). From anthropological, social and environmental perspectives, however, the archaeological record remains challenging to interpret, prompting renewed investigations of several key issues, including the environmental impact of craft production – particularly metallurgy – the organisation of human communities and the influence of Holocene climatic fluctuations. These questions are closely tied to transformations in production systems that underpinned growing social complexity. Increasing craft specialisation and the expansion of exchange networks fostered new forms of wealth accumulations and social differentiation, ultimately paving the way for the emergence of the first proto-urban societies (Kristiansen and Larsson, 2005). Notably, from the Middle/Recent Bronze Age onwards, a significant demographic growth is evident in several European regions, such as northern France and northern Italy (Peake *et al.*, 2017; Bernabò Brea *et al.*, 1997); for example, between the 17th and 12th centuries BCE, in the southern part of the Po Valley, in Emilia-Romagna, the Terramare civilisation developed (Santa Rosa di Poviglio, Montale, Baggiovàra): following the colonisation and deforestation of new lands, new settlements emerged, characterised by their considerable size and long periods of occupation (Bernabò Brea *et al.*, 1997). Indeed, population growth affected the surrounding areas, which progressively evolved into highly anthropised landscapes characterised by a mosaic of cereal fields and pastures, whereas woodland became highly confined to the periphery of settlement zones (Mercuri *et al.*, 2006; Mercuri *et al.*, 2015; Nicosia *et al.*, 2025; D'Aquino *et al.*, 2026; Dal Corso *et al.*, 2017). Considerable data suggest that subsistence strategies and craft activities had a significant impact on the environment. (Cremaschi *et al.*, 2006;

d'habitat (Mercuri *et al.*, 2006 ; Mercuri *et al.*, 2015 ; Nicosia *et al.*, 2025 ; D'Aquino *et al.*, 2026 ; Dal Corso *et al.*, 2017). De nombreuses données suggèrent que les stratégies de subsistance et les activités artisanales ont eu un impact significatif sur l'environnement (Cremaschi *et al.*, 2006 ; Manfrin *et al.*, 2026 ; Mercuri *et al.*, 2015 ; Dal Corso *et al.*, 2012). La surexploitation des terroirs est dès lors fréquemment invoquée comme l'un des facteurs de leur disparition, dans un contexte d'économie de subsistance largement autosuffisante, fondée sur l'agriculture et l'élevage. Ainsi, loin de se limiter à une simple phase d'innovations techniques, l'âge du Bronze apparaît comme une période de changement, où s'articulent dynamiques environnementales, mutations sociales et réorganisations économiques, conduisant à de nouvelles configurations des sociétés.

L'étude des pratiques alimentaires constitue, à cet égard, une approche unique pour appréhender les mécanismes socio-économiques. À l'interface entre les sociétés et leurs environnements, l'alimentation occupe une place centrale dans les dynamiques sociétales : elle constitue un prisme privilégié pour comprendre les comportements humains, ainsi que leurs impacts, directs et indirects, sur l'environnement. Dans cette perspective, on propose ici une analyse des données isotopiques des restes humains et animaux actuellement disponibles pour l'Europe occidentale (Espagne, France, Italie, Suisse) pour l'âge du Bronze. Les analyses isotopiques fournissent des informations directes sur les régimes alimentaires, en documentant les ressources effectivement consommées par les individus. Croisées avec les données archéobotaniques et archéozoologiques, qui apportent des indices plus indirects sur l'alimentation et s'inscrivent dans des échelles temporelles différentes, les données isotopiques permettent de reconstituer avec une résolution accrue les régimes alimentaires, et, dans une certaine mesure, les modes de production des communautés de cette période. Cette synthèse vise également à mettre en évidence les principales tendances ainsi que les différences les plus marquées entre ces régions à l'âge du Bronze.

L'ALIMENTATION À L'ÂGE DU BRONZE EN EUROPE OCCIDENTALE : ENTRE TRADITIONS AGRICOLES ET PRATIQUES D'ÉLEVAGE

L'âge du Bronze se caractérise globalement par le passage d'une agriculture de type horticole, fondée sur de petites surfaces cultivées et des systèmes de production à l'échelle familiale, caractéristiques du Néolithique, à des cultures plus extensives (Castelletti *et al.*, 2001 ; Bouby *et al.*, 2018). On remarque une intensification progressive des cultures céréalières, avec une prédominance de l'orge (*Hordeum vulgare*) mieux adaptée aux environnements contraignants en raison de sa plus grande tolérance et du blé vêtus, comme l'amidonnié (*Triticum dicoccum*) et l'engrain (*Triticum monococcum*) et nus

Manfrin *et al.*, 2026 ; Mercuri *et al.*, 2015 ; Dal Corso *et al.*, 2012). The overexploitation of the land is therefore frequently invoked as one of the factors behind woodland disappearance, within the context of a largely self-sufficient subsistence economy based on agriculture and animal husbandry. Far from being limited to a mere phase of technical innovation, the Bronze Age appears as a period of transformation in which environmental dynamics, social change and economic reorganisations interplay, leading to new configurations of society.

In this regard, the study of dietary practices offers a unique approach to understanding socio-economic mechanisms. At the interface between societies and their environments, food plays a central role in societal dynamics: it provides a valuable lens through which to understand human behaviour, as well as its direct and indirect impacts on the environment. In this perspective, we present an analysis of the currently available isotopic data from human and animal remains in Western Europe (Spain, France, Italy, and Switzerland) for the Bronze Age. Isotopic analyses provide direct information about dietary practices by documenting the resources actually consumed by individuals. When combined with archaeobotanical and archaeozoological data, which offer indirect evidence of diet and operate at different temporal scales, isotopic data allow for a higher-resolution reconstruction of dietary regimes and, to some extent, of the production systems of communities during this period. This synthesis also aims to highlight the main trends as well as the most pronounced regional differences during the Bronze Age across these areas.

DIET DURING THE BRONZE AGE IN WESTERN EUROPE: BETWEEN AGRICULTURAL TRADITIONS AND ANIMAL HUSBANDRY

The Bronze Age is generally characterised by a shift from horticultural-style agriculture, based on small cultivated areas and family-scale production systems typical of the Neolithic period, to more extensive farming practices (Castelletti *et al.*, 2001 ; Bouby *et al.*, 2018). A progressive intensification of cereal cultivation can be observed, with a predominance of barley (*Hordeum vulgare*) – which is better suited to harsh environments due to its greater tolerance – and wheat varieties such as emmer (*Triticum dicoccum*) and einkorn (*Triticum monococcum*), as well as common wheat (*Triticum aestivum/durum*), depending on regional contexts (Fiorentino *et al.*, 2004 ; Alonso et Bouby, 2017 ; Bouby and Toulemonde, 2025 ; Perego *et al.*, 2022 ; Rottoli, 2024). In addition to these species, a diversification of cultivated crops can be observed, marked by the emergence of so-called minor crops such as rye (*Secale cereale*), spelt (*Triticum spelta*) and oats (*Avena* sp.), as well as by the widespread adoption of oil-producing plants such as camelina and various legumes (Toulemonde *et al.*, 2018, 2022). Among the

(*Triticum aestivum/durum*) selon les contextes régionaux (Fiorentino *et al.*, 2004 ; Alonso et Bouby, 2017 ; Bouby et Toulemonde, 2025 ; Perego *et al.*, 2022 ; Rottoli, 2024). En complément de ces espèces, on observe une diversification des cultures, marquée par l'apparition de cultures dites mineures, telles que le seigle (*Secale cereale*), l'épeautre (*Triticum spelta*) et l'avoine (*Avena* sp.), ainsi que par une diffusion importante des plantes oléagineuses comme la caméline et des légumineuses (Toulemonde *et al.*, 2018, 2022). Parmi les légumineuses les plus communes, on peut citer la fève (*Vicia faba*) et le pois (*Pisum sativum*), auxquels s'ajoutent la gesse (*Lathyrus sativus*), la gesse chiche (*Lathyrus cicera*), la lentille (*Lens culinaris*), la vesce commune (*Vicia sativa*) et la vesce ervilia (*Vicia ervilia*), qui complètent cette production en apportant non seulement une diversité nutritionnelle significative, mais aussi en contribuant à l'enrichissement naturel des sols en azote, à l'amélioration de leur fertilité et à la prévention de leur appauvrissement (Rottoli, 2001 ; Fiorentino *et al.*, 2004).

L'âge du Bronze est caractérisé également par la cultivation de plantes en C₄ telles que le millet commun (*Panicum miliaceum*) et le millet des oiseaux (*Setaria italica*) (Fiorentino *et al.*, 2004 ; Toulemonde *et al.*, 2018, 2022 ; Dal Corso *et al.*, 2022 ; Perego *et al.*, 2022 ; Rottoli, 2024 ; Debandi, 2021). Si leur présence est bien attestée au cours des phases finales de l'âge du Bronze dans une grande partie de l'Europe occidentale, les modalités ainsi que la chronologie de leur diffusion sont encore mal comprises. Les études récentes fondées sur la datation radiocarbone directe de graines contribue à mieux retracer l'expansion de ces cultures à l'échelle européenne (Filipović *et al.*, 2020). Toutefois, seules les analyses isotopiques des restes humains permettent de mettre en évidence la consommation de ces céréales (Lightfoot *et al.*, 2013). En effet, les millets, en tant que plantes en C₄, présentent des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ plus élevées que celles des plantes en C₃ (O'Leary, 1988 ; Farquhar *et al.*, 1989). Une consommation importante de ces céréales se traduit ainsi par un enrichissement en ^{13}C , se reflétant dans des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ plus élevées chez les individus. (Ambrose et Norr, 1993). Cette signature isotopique spécifique permet d'identifier de manière robuste la place du millet dans les régimes alimentaires anciens (Lightfoot *et al.*, 2013).

Les millets se distinguent par une bonne adaptation aux environnements contraignants, en particulier dans des contextes de stress hydrique et de sols pauvres. Ils présentent un cycle de croissance court, une tolérance élevée à la sécheresse et une forte plasticité écologique, autant de caractéristiques qui en font une ressource stratégique dans les systèmes agraires anciens (Lu *et al.*, 2009 ; Hunt *et al.*, 2011). Cette résistance repose notamment sur leur métabolisme photosynthétique de type C₄, qui optimise l'utilisation de l'eau, ainsi que sur un système racinaire efficace permettant d'exploiter rapidement l'humidité disponible et de limiter l'exposition à des épisodes prolongés de déficit hydrique.

most common legumes were broad bean (*Vicia faba*) and pea (*Pisum sativum*), alongside grass pea (*Lathyrus sativus*), red pea (*Lathyrus cicera*), lentil (*Lens culinaris*), common vetch (*Vicia sativa*), and bitter vetch (*Vicia ervilia*), which complement this production by providing not only significant nutritional diversity, but also by contributing to the natural enrichment of soils with nitrogen, improving their fertility, and preventing their depletion (Rottoli, 2001 ; Fiorentino *et al.*, 2004).

The Bronze Age is also characterised by the cultivation of C₄ plants, such as common millet (*Panicum miliaceum*) and foxtail millet (*Setaria italica*) (Fiorentino *et al.*, 2004 ; Toulemonde *et al.*, 2018, 2022 ; Dal Corso *et al.*, 2022 ; Perego *et al.*, 2022 ; Rottoli, 2024 ; Debandi, 2021). Although their presence is well-attested during the final phases of the Bronze Age across much of Western Europe, the mechanisms and chronology of their diffusion remain poorly understood. Recent studies using direct radiocarbon dating of seeds have helped to better trace the spread of these crops across Europe (Filipović *et al.*, 2020). However, only the isotopic analyses of human remains can confirm the consumption of these grains (Lightfoot *et al.*, 2013). In fact, millets, as C₄ plants, have higher $\delta^{13}\text{C}$ values than C₃ plants (O'Leary, 1988 ; Farquhar *et al.*, 1989). High consumption of these plants therefore results in an enrichment in ^{13}C , reflected in higher $\delta^{13}\text{C}$ values in human remains (Ambrose and Norr, 1993). This distinctive isotopic signature provides a robust means of assessing the contribution of millet to ancient dietary practices (Lightfoot *et al.*, 2013).

Millet are highly adapted to harsh environmental conditions, particularly water limited environments and nutrient poor soils. Their short growing season, high drought tolerance, and remarkable ecological plasticity make them resilient crops under a wide range of environmental conditions (Lu *et al.*, 2009 ; Hunt *et al.*, 2011). This resilience is primarily due to their C₄ photosynthetic metabolism, which optimises water use, as well as to an efficient root system that enables rapid exploitation of available moisture and limits exposure to prolonged periods of water stress.

The introduction of millets is associated with a reorganisation of agricultural systems, enabling the development of a dual cropping regime based on the complementary between summer crops (millets, legumes) and winter crops (wheat, barley). This diversification promoted a more even distribution of agricultural labour across the year, while allowing for the integration of fast-growing catch crops (Sigaut, 1995 ; Toulemonde *et al.*, 2022). Collectively, these practices – crop rotation, intercropping and manure fertilisation – contributed to the emergence of more flexible and resilient agricultural systems, enhancing soil fertility maintenance and yield stability (Auxiette *et al.*, 2015 ; Auxiette and Toulemonde, 2018 ; Toulemonde *et al.*, 2018, 2022).

At the same time, animal husbandry gained increasing importance within agropastoral economies, while wild fauna declined compared to earlier periods. Despite the data remain inconsistent across the different chronological

L'introduction des millets s'accompagne d'une réorganisation des systèmes agricoles, en ouvrant la possibilité d'une double production fondée sur la complémentarité entre cultures estivales (millets, légumineuses) et hivernales (blé, orge). Cette articulation favorise une meilleure répartition du travail au cours de l'année, tout en permettant l'intégration de cultures de rattrapage à croissance rapide (Sigaut, 1995 ; Toulemonde *et al.*, 2022). L'ensemble de ces pratiques – rotations culturales, associations de plantes et fertilisation par le fumier – participe ainsi à l'émergence de systèmes agricoles plus flexibles et résilients, assurant le maintien de la fertilité des sols et la stabilité des rendements (Auxiette *et al.*, 2015 ; Auxiette et Toulemonde, 2018 ; Toulemonde *et al.*, 2018, 2022).

Parallèlement, l'élevage acquiert une importance croissante au sein des économies agropastorales, avec la faune sauvage qui diminue par rapport aux périodes antérieures. Malgré des données encore inégales selon les phases chronologiques de l'âge du Bronze et les régions – notamment entre le nord et le sud de la France, ainsi qu'entre le nord et le sud de l'Italie (p. ex. Toulemonde *et al.*, 2018 ; Auxiette et Hachem, 2021) –, les études fauniques indiquent que l'alimentation carnée reposait majoritairement sur l'exploitation des bovins, des ovins-caprins et des porcs. La part relative de ces espèces varie toutefois en fonction des contextes environnementaux locaux (p. ex. plaine vs milieu montagnard) (p. ex. Riedel, 1992 ; De Grossi Mazzorin, 1995 ; De Grossi Mazzorin *et al.*, 2004, 2013 ; Debandi, 2021). Cependant, au-delà des contraintes environnementales, la composition des assemblages fauniques est également conditionnée par la nature des sites et à leur statut. Le site aristocratique du Gros Buisson à Villiers-sur-Seine constitue à cet égard un exemple emblématique (Peake, 2020 ; Auxiette et Peake, 2020) : il se distingue à la fois par l'abondance des restes et par leur composition, dominée par des restes de porcs abattus jeunes et de cerf, suggérant une consommation de viande de haute qualité. Un tel profil faunique peut être interprété comme le reflet de pratiques de consommation spécifiques, possiblement associées à un statut social élevé, et renvoyant à des formes de consommation ostentatoire, voire à des événements collectifs de type festif (Auxiette, 2025 ; Auxiette *et al.*, 2015 ; Auxiette et Peake, 2020 ; Auxiette et Hachem, 2021). Dans cette perspective, les productions animales ne se limitent pas à l'approvisionnement en viande, mais s'inscrivent dans un ensemble plus large de pratiques économiques. Elles participent à la fourniture de ressources secondaires – lait, cuir, laine – ainsi qu'à des fonctions essentielles telles que la traction animale, notamment via l'emploi de bœufs, et la fertilisation des terres cultivées par l'apport de fumure. Ainsi, l'exploitation des animaux s'intègre pleinement aux dynamiques agropastorales et contribue à structurer les relations entre les sociétés et leur environnement (Kristiansen et Sørensen, 2019 ; Sherratt, 1981).

phases of the Bronze Age and between regions – particularly between northern and southern France, as well as between northern and southern Italy (e.g. Toulemonde *et al.*, 2018; Auxiette and Hachem, 2021) – archaeozoological studies indicate that the meat consumption was primarily based on cattle, caprines and pigs; although, the relative proportion of these species varies depending on local environmental conditions (e.g. lowland vs. mountainous areas) (e.g. Riedel, 1992; De Grossi Mazzorin, 1995; De Grossi Mazzorin *et al.*, 2004, 2013; Debandi, 2021). Beyond environmental constraints, however, the composition of faunal assemblages is also shaped by the nature of the sites and their status. The aristocratic site of Gros Buisson in Villiers-sur-Seine is a prime example of this (Peake, 2020; Auxiette and Peake, 2020): it is notable both for the abundance of remains and for their composition, dominated by remains of young slaughtered pigs and deer, suggesting the consumption of high-quality meat. Such a faunal profile may reflect specific dietary practices associated with high social status, and may indicate forms of ostentatious consumption or collective festive events (Auxiette, 2025; Auxiette *et al.*, 2015; Auxiette and Peake, 2020; Auxiette and Hachem, 2021). In this perspective, livestock production was not limited to meat supply, but is embedded in a broader set of economic practices. It also contributed to the provision of secondary resources – milk, leather, wool – as well as essential functions such as animal traction, particularly using oxen, and the fertilisation of cultivated land through the application of manure. Animal husbandry was, therefore, fully integrated into agro-pastoral dynamics and contributed in shaping the relationship between societies and their environment (Kristiansen and Sørensen, 2019; Sherratt, 1981).

CONTRIBUTIONS OF ISOTOPIC ANALYSES TO THE RECONSTRUCTION OF ANCIENT DIETARY PRACTICES

The isotopic analysis of bone collagen is based on the measurement of stable carbon and nitrogen isotopes present in the protein fraction of bone tissue, consisting mainly of collagen (Ambrose, 1993; Richards and Hedges, 1999). These stable isotopes are incorporated into body tissues through the regular intake of dietary proteins. Once metabolised, they are incorporated into the bone matrix through the continuous process of bone remodelling, enabling these isotopic markers to reflect long-term dietary intake, typically over a period of 10 to 20 years in adult long bones (Hedges *et al.*, 2007; Sealy *et al.*, 2014).

Carbon isotope values ($\delta^{13}\text{C}$) measured from bone collagen constitute a fundamental indicator for reconstructing long-term dietary habits. While they reflect the isotopic signatures of dietary proteins, carbohydrates and lipids, they are heavily biased toward proteins, particularly in the case of protein-rich diets. Collagen $\delta^{13}\text{C}$ values allow the identification of the types of plants forming the basis of the diet, according to their photosynthetic pathway (Van

APPORTS DES ANALYSES ISOTOPIQUES À LA RECONSTRUCTION DES PRATIQUES ALIMENTAIRES ANCIENNES

L'analyse isotopique du collagène osseux repose sur la mesure des isotopes stables du carbone et de l'azote présents dans la fraction protéique du tissu osseux, principalement constituée de collagène (Ambrose, 1993 ; Richards et Hedges, 1999). Ces isotopes stables sont incorporés dans les tissus corporels par le biais de la consommation régulière de protéines alimentaires. Une fois métabolisés, ils sont intégrés dans la matrice osseuse via le processus continu de remodelage osseux, permettant à ces marqueurs isotopiques de refléter l'alimentation à long terme, généralement sur une période de 10 à 20 ans pour les os longs chez l'adulte (Hedges *et al.*, 2007 ; Sealy *et al.*, 2014).

Les valeurs isotopiques du carbone ($\delta^{13}\text{C}$) mesurées à partir du collagène osseux constituent un indicateur fondamental pour retracer les sources alimentaires consommées sur le long terme. Elles reflètent les signatures isotopiques des protéines, glucides et lipides de l'alimentation, mais sont fortement biaisées en faveur des protéines, en particulier dans le cas de régimes riches en protéines. Les $\delta^{13}\text{C}$ du collagène permettent d'identifier les types de végétaux à la base du régime alimentaire selon leur voie photosynthétique (Van der Merwe, 1982 ; Vogel, 1978). Les plantes en C_3 , qui utilisent la voie photosynthétique de Calvin-Benson, incluent la majorité des espèces des zones tempérées (ex. : blé, orge, riz, légumineuses, fruits, légumes) et présentent des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ généralement comprises entre -20‰ et -35‰. En revanche, les plantes en C_4 , telles que le maïs, le millet ou le sorgho, dont le cycle de Hatch-Slack est plus performant en climat chaud et sec, sont caractérisées par des valeurs plus enrichies, autour de -9‰ à -14‰ (Smith et Epstein, 1971 ; O'Leary, 1988 ; Cerling et Harris, 1999). Cette distinction permet notamment de détecter l'introduction des plantes en C_4 dans des régimes alimentaires historiquement dominés par les plantes en C_3 , un phénomène bien documenté dans de nombreux contextes archéologiques, notamment à l'âge du Bronze (Varalli *et al.*, 2021, 2022).

Outre la distinction entre plantes C_3 et C_4 , le $\delta^{13}\text{C}$ permet d'évaluer l'importance relative des ressources alimentaires d'origine terrestre, marine ou dulçaquicole. Les ressources marines (poissons, mammifères marins, algues) présentent des valeurs $\delta^{13}\text{C}$ plus élevées que les ressources terrestres, en raison de la composition isotopique spécifique du réservoir de carbone marin, dominé par les bicarbonates dissous plutôt que par le dioxyde de carbone atmosphérique (Tauber, 1981 ; Schoeninger et DeNiro, 1984). Les ressources d'eau douce, quant à elles, sont plus variables, mais peuvent également montrer un enrichissement relatif en ^{13}C selon les conditions hydrologiques, la productivité primaire et le type de carbone dissous dans les systèmes aquatiques.

Enfin, bien que le $\delta^{13}\text{C}$ soit moins sensible que le $\delta^{15}\text{N}$ aux effets trophiques, on observe généralement

der Merwe, 1982 ; Vogel, 1978). C_3 plants, which utilise the Calvin-Benson photosynthetic pathway, include the majority of species from temperate zones (e.g. wheat, barley, rice, legumes, fruits, vegetables) and generally present $\delta^{13}\text{C}$ values between -20‰ and -35‰. In contrast, C_4 plants, such as maize, millet, or sorghum, whose Hatch-Slack cycle is more efficient in hot and dry climates, are characterised by more enriched values, around -9‰ to -14‰ (Smith and Epstein, 1971 ; O'Leary, 1988 ; Cerling and Harris, 1999). This distinction makes it possible to detect the introduction of C_4 plants into diets that were historically dominated by C_3 plants, a phenomenon that is well documented in many archaeological contexts, particularly during the Bronze Age (Varalli *et al.*, 2021, 2022).

Beyond the distinction between C_3 and C_4 plants, $\delta^{13}\text{C}$ values also allows for the assessment of the relative importance of terrestrial, marine or freshwater food resources. Marine resources (fish, marine mammals, algae) present higher $\delta^{13}\text{C}$ values than terrestrial resources, due to the specific isotopic composition of the marine carbon reservoir, which is dominated by dissolved bicarbonates rather than atmospheric carbon dioxide (Tauber, 1981 ; Schoeninger and DeNiro, 1984).

Freshwater resources, on the other hand, are more variable, but may also show a relative enrichment in ^{13}C depending on hydrological conditions, primary productivity and the type of carbon dissolved in aquatic systems. Finally, although $\delta^{13}\text{C}$ is less sensitive than $\delta^{15}\text{N}$ to trophic effects, a slight increase (approximately 0‰ to 1‰) in $\delta^{13}\text{C}$ is generally observed at each trophic level. This increase results from isotopic fractionation during digestion, metabolism and the absorption of nutrients (Bocherens and Drucker, 2003 ; Schwarcz, 1991). As a result, consumers of animal products may have slightly higher $\delta^{13}\text{C}$ values than strictly plant-based consumers, even when relying on C_3 plants, although this distinction is more subtle than that observed for $\delta^{15}\text{N}$.

Nitrogen isotope ratios ($\delta^{15}\text{N}$) are a reliable proxy for assessing trophic position within food chains. Plants, which form the basis of these chains, present isotope values that vary according to several factors, such as species, environment or type of photosynthesis. Among these, legumes, which played a significant role in Bronze Age agriculture, are capable of directly fixing atmospheric nitrogen; as a result, they have lower $\delta^{15}\text{N}$ values than other crops. These variations directly influence the isotopic values of consumers at higher trophic levels. $\delta^{15}\text{N}$ values generally increase by 3‰ to 5‰ at each trophic level, due to isotopic fractionation associated with the preferential deamination of ^{14}N during amino acid metabolism, resulting in the relative enrichment of ^{15}N in body tissues (Minagawa and Wada, 1984 ; Bocherens and Drucker, 2003). Consequently, individuals consuming animal proteins (meat, fish, dairy products) have higher $\delta^{15}\text{N}$ values than those with predominantly plant-based diets or diets based on lower trophic-level resources (Schoeninger and DeNiro, 1984 ; Hedges and Reynard, 2007).

However, $\delta^{15}\text{N}$ values do not solely reflect diet; they can also be influenced by physiological and environmen-

une légère augmentation (environ 0‰ à 1‰) du $\delta^{13}\text{C}$ à chaque niveau trophique. Cette élévation résulte du fractionnement isotopique lors de la digestion, du métabolisme et de l'assimilation des nutriments, notamment des acides aminés carbonés (Bocherens et Drucker, 2003 ; Schwarcz, 1991). Ainsi, les consommateurs de produits animaux peuvent présenter des $\delta^{13}\text{C}$ légèrement supérieurs à ceux des consommateurs strictement végétariens, même à base de plantes en C_3 , bien que cette distinction soit plus subtile que celle observée dans le cas du $\delta^{15}\text{N}$.

Les valeurs isotopiques de l'azote ($\delta^{15}\text{N}$) constituent un indicateur fiable du niveau trophique dans les chaînes alimentaires. Les plantes, qui occupent la base de ces chaînes, présentent des valeurs isotopiques variant selon plusieurs facteurs tels que l'espèce, l'environnement ou le type de photosynthèse. Parmi elles, les légumineuses, qui occupent une place remarquable dans les cultures à l'âge du Bronze, peuvent fixer directement l'azote atmosphérique ; elles présentent par conséquent des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ plus basses que les autres céréales. Ces variations influencent directement les valeurs isotopiques des consommateurs situés aux niveaux trophiques supérieurs. Les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ augmentent généralement de 3‰ à 5‰ à chaque saut trophique, en raison du fractionnement isotopique associé à la désamination préférentielle du ^{14}N au cours du métabolisme des acides aminés, ce qui entraîne une rétention relative de ^{15}N dans les tissus corporels (Minagawa et Wada, 1984 ; Bocherens et Drucker, 2003). Ainsi, les individus consommant des protéines animales (viande, poisson, produits laitiers) présentent des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ plus élevées que ceux ayant une alimentation majoritairement végétarienne ou basée sur des ressources de niveau trophique inférieur (Schoeninger et DeNiro, 1984 ; Hedges et Reynard, 2007).

Cependant, les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ ne reflètent pas uniquement le régime alimentaire ; elles peuvent également être influencées par des facteurs physiologiques et environnementaux. Par exemple, le stress nutritionnel, les hormones ou les pathologies chroniques peuvent entraîner une mobilisation accrue des réserves corporelles, ce qui augmente les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ (Fuller *et al.*, 2005 ; Mekota *et al.*, 2006). Chez les nourrissons, un enrichissement en ^{15}N est observé par rapport à leur mère en raison de la position trophique plus élevée que représente l'allaitement, le lait maternel étant une ressource métaboliquement dérivée du régime adulte (Fogel *et al.*, 1989 ; Tsutaya et Yoneda, 2015 ; Herrscher *et al.*, 2017). Par ailleurs, des pratiques agricoles comme l'utilisation d'engrais organiques (par exemple le fumier) enrichissent en ^{15}N les plantes cultivées, affectant ainsi indirectement les valeurs isotopiques des consommateurs humains ou animaux. Cet effet est moins marqué chez les légumineuses, qui mobilisent moins l'azote du sol en raison de la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique (Fraser *et al.*, 2011 ; Bogaard *et al.*, 2013).

L'interprétation des données isotopiques requiert une mise en contexte rigoureuse, rendue possible par l'établissement de référentiels fauniques et botaniques locaux. Ces référentiels permettent d'interpréter les valeurs isotopiques en fonction des conditions environnementales, des

tal factors. For example, nutritional stress, hormones or chronic disease may lead to increased mobilisation of the body's reserves, resulting in elevated $\delta^{15}\text{N}$ values (Fuller *et al.*, 2005 ; Mekota *et al.*, 2006). In infants, an enrichment in ^{15}N is observed compared with their mothers due to the higher trophic position associated with breastfeeding, as breast milk is a resource metabolically derived from the adult diet (Fogel *et al.*, 1989 ; Tsutaya and Yoneda, 2015 ; Herrscher *et al.*, 2017). Furthermore, agricultural practices such as the use of organic fertilisers (e.g. manure) enrich cultivated plants with ^{15}N , thereby indirectly affecting the isotopic values of human and animal consumers. This effect is less pronounced in legumes, which rely less on soil nitrogen due to their symbiotic fixation of atmospheric nitrogen (Fraser *et al.*, 2011 ; Bogaard *et al.*, 2013).

The interpretation of isotopic data requires a rigorous contextual framework, made possible by establishing local faunal and botanical baselines. These baselines enable isotopic values to be interpreted in relation to environmental conditions and agricultural practices, particularly the use of organic fertilisers (Ambrose and DeNiro, 1986 ; Richards and Hedges, 1999 ; Szpak, 2014). They are essential for accounting for baseline environmental variations and for refining the identification of food sources.

Furthermore, bone collagen, which is primarily derived from the protein fraction of the diet, mainly reflects protein intake, whether from animal or plant sources. Consequently, the contribution of carbohydrates and lipids is underrepresented, despite their importance as a major source of dietary energy, particularly in diets with a strong plant or cereal component (Tieszen and Fagre, 1993 ; Katzenberg, 2008). This limitation necessitates a cautious interpretation of isotopic results, particularly in populations whose dietary energy derived largely from cereals or other carbohydrate-rich plant foods, as these resources are only weakly reflected in bone collagen isotope values and may therefore remain largely invisible. For this reason, the isotopic approach is most frequently integrated into a multidisciplinary framework, cross-referencing results with other sources of archaeological data: archaeobotanical and zooarchaeological analyses, dental microwear studies, and organic residue analyses on ceramics or grinding tools, among others (Dalla Longa *et al.*, 2024). This integration of multiple lines of evidence contributes to a more comprehensive, nuanced, and representative reconstruction of dietary practices and the diversity of subsistence strategies in past societies.

SYNTHESIS OF ISOTOPIC DATA FOR WESTERN EUROPE

Italy

The isotopic studies conducted in Italy encompass approximately thirty sites, distributed unevenly across the peninsula (Fig. 1). Certain areas, such as the Po Valley in northern Italy, are characterised by a high density

pratiques agricoles (notamment l'usage d'engrais organiques) (Ambrose et DeNiro, 1986 ; Richards et Hedges, 1999 ; Szpak, 2014). Ils sont essentiels pour corriger les variations de fond liées au milieu et affiner l'identification des sources alimentaires.

Par ailleurs, le collagène osseux, issu de la fraction protéique du régime alimentaire, reflète surtout l'apport en protéines, qu'elles soient d'origine animale ou végétale. En conséquence, la contribution des glucides et des lipides est sous-représentée, bien qu'ils constituent une part importante de l'apport énergétique, notamment dans les régimes à forte composante végétale ou céréalière (Tieszen et Fagre, 1993 ; Katzenberg, 2008). Cette limitation impose une interprétation prudente des résultats isotopiques, notamment dans les contextes où les ressources riches en glucides (céréales, fruits, tubercules) constituaient une part importante de l'alimentation, car leur contribution énergétique est peu reflétée dans les valeurs isotopiques du collagène osseux et peut donc rester largement invisible. C'est pourquoi l'approche isotopique est le plus souvent intégrée dans une démarche pluridisciplinaire, en croisant les résultats avec d'autres sources de données archéologiques : analyses archéobotaniques et zooarchéologiques, étude des micro-usures dentaires, analyses de résidus organiques sur la céramique ou les outils de mouture, entre autres (Dalla Longa *et al.*, 2024). Ce croisement d'indicateurs contribue à une reconstruction de pratiques alimentaires plus complète, nuancée et représentative de la diversité des stratégies de subsistance dans les sociétés passées.

SYNTHÈSE DES DONNÉES ISOTOPIQUES POUR L'EUROPE OCCIDENTALE

L'Italie

Les études isotopiques réalisées en Italie portent sur une trentaine de sites, répartis de manière inégale sur l'ensemble de la péninsule (fig. 1). Certaines zones, comme la plaine du Pô dans le nord de l'Italie, se distinguent par une forte densité de sites et par des nécropoles renfermant un nombre élevé d'individus. Quant au centre de la péninsule, seule la zone côtière tyrrhénienne a fait l'objet d'études isotopiques. Les sites méridionaux sont relativement nombreux, mais, à l'exception de quelques cas notables (p. ex. Castiglione en Sicile, Trinitapoli dans les Pouilles), les nécropoles sont constituées par un nombre limité d'individus. Les phases du Bronze ancien et moyen sont sans doute les mieux documentées, tandis qu'une carence de données est manifeste pour le Bronze récent - final. Cette lacune s'explique par la rareté relative des sites de cette période et par l'évolution des pratiques funéraires, marquée par le passage de l'inhumation à l'incinération, qui empêche l'analyse isotopique du collagène osseux, celui-ci ne se conservant pas après crémation.

Plusieurs études actuellement en cours de publication (projet Metal.LI, MC Cofund fellowship, resp. : A. Varalli ; projet NuragiC, ANR programme, resp. A. Varalli, projet BUR.P.P.H., IdEx programme, Univ. de

of sites and by necropolises containing a large number of individuals. As for the centre of the peninsula, only the Tyrrhenian coastal area has been the subject of isotopic investigations. There are a relatively large number of sites in the south; however, apart from a few notable exceptions (e.g. Castiglione in Sicily, Trinitapoli in Apulia), the cemeteries contained only a limited number of individuals. The Early and Middle Bronze Age are currently the best documented periods, whereas isotopic data for the Recent and Final Bronze Age remain scarce. This gap is partially attributable to the relative scarcity of sites from these phases and by changes in funerary practices. The transition from inhumation to cremation limits the potential for bone collagen isotope analysis, as collagen is not preserved following cremation.

Several studies currently underway and expected to be published in the near future (the Metal.LI project, MC Cofund fellowship, led by A. Varalli; the NuragiC project, ANR programme, led by A. Varalli; the BUR.P.P.H. project, IdEx programme, University of Bordeaux, led by V.S. Sparacello; and the Shovel project, National Research Project (PRIN), led by B. Bramanti) will provide significant new datasets, contributing to a more refined understanding of Bronze Age dietary practices across the Italian peninsula.

Early Bronze Age

The sites analysed for the Early Bronze Age (2200–1650 BCE) are Ballabio (Masotti *et al.*, 2019), Arano (Varalli *et al.*, 2016a), Pertuso (Varalli *et al.*, 2022), Dossetto, Mereto and Sedegliano (Tafuri *et al.*, 2009, 2018) and Tana del Barletta (Morandi *et al.*, 2021) in the north; Grotta dello Scoglietto (Varalli *et al.*, 2016b), Grotta La Sassa (Romboni *et al.*, 2023) and Grotta La Pastena (Cortese *et al.*, 2022) in the centre; Roca Vecchia (Vincenti *et al.*, 2024), Sant'Abbondio (Tafuri, 2003), Grotta di Uzzo (Yu *et al.*, 2022), Grotta di Donna Marsiglia and Grotta di Sant'Angelo (Arena, 2017) in the south; and Castiglione in Sicily. These sites have yielded isotopic data for a total of 204 humans and 60 animals. Despite geographical and environmental variability during this period, human groups on the Italian Peninsula appear to have predominantly adopted a diet based on terrestrial resources typical of temperate environments, consisting mainly of C₃ plants (wheat, barley, legumes) and animal products derived from ruminant husbandry (Tafuri *et al.*, 2009; Varalli *et al.*, 2016a, 2016b; Varalli *et al.*, 2022). An exception is represented by the site of Grotta dello Scoglietto (Tuscany), where isotopic values suggest either a probable contribution of aquatic resources or, alternatively, a diet enriched in ¹⁵N, possibly linked to a substantial consumption of animal-based foods such as dairy products or meat (figs. 2 and 4) (Varalli *et al.*, 2016b). Slight regional differences are nonetheless observable between groups, most likely reflecting different local environmental conditions (e.g. humidity, access to natural pastures) as well as specific subsistence strategies including crop selection and herd management practices.

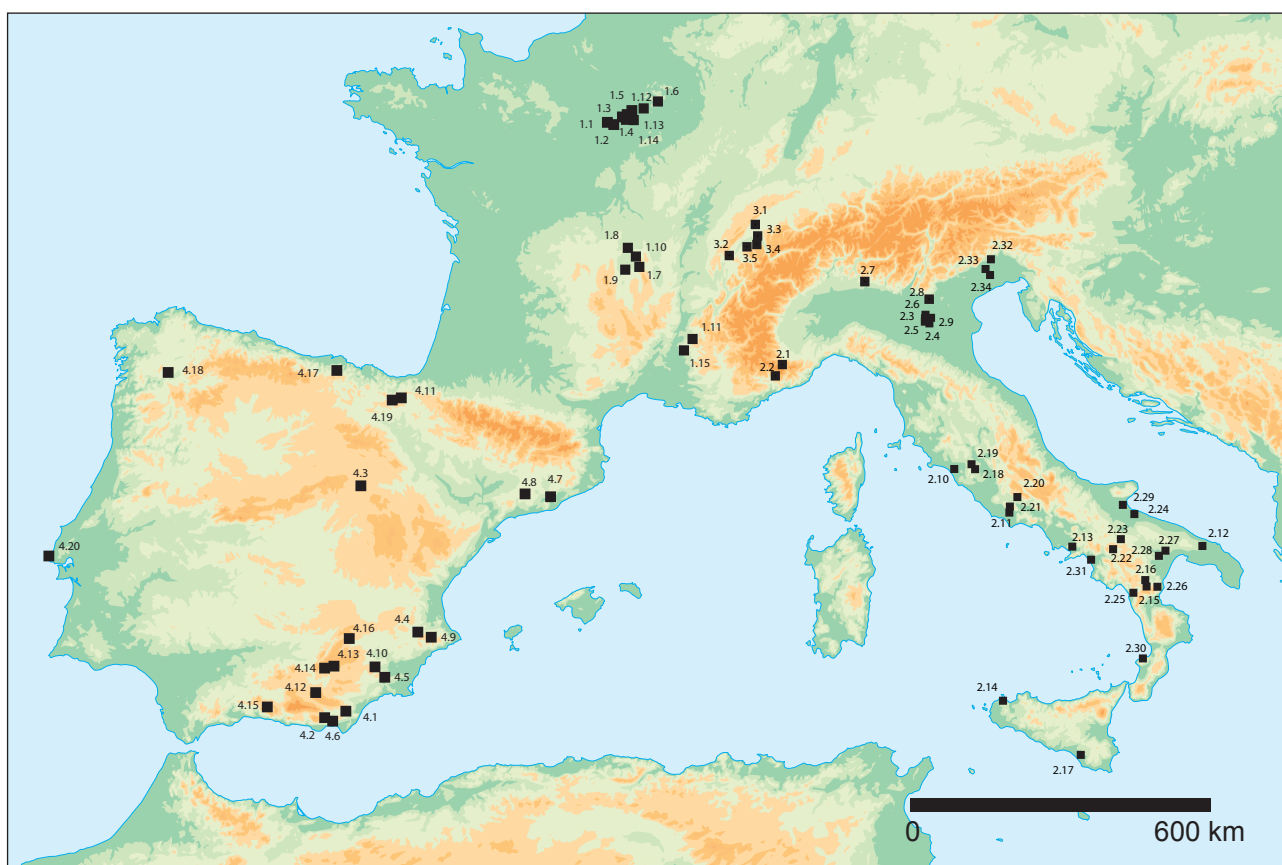


Fig. 1 – Carte de l'Europe occidentale avec les sites mentionnés dans le texte : 1. **France** : 1.1 Varennes-sur-Seine, 1.2 Ville-Saint-Jacques, 1.3 Marolles-sur-Seine, 1.4 Barbey, 1.5 Jaulnes, 1.6 Barbuise, 1.7 Machal (Dallet), 1.8 Chantemerle (Gerzat), 1.9 Le Tourteix (Orcet), 1.10 Aulnat-Zalo, 1.11 Aven Janna, 1.12 Grisy-sur-Seine, 1.13 Egligny, 1.14 Cannes-Écluse, 1.15 Grotte du Maquis, 1.16 La Tombe. 2. **Italie** : 2.1 Grotta del Pertuso, 2.2 Buco del Diavolo, 2.3 Olmo di Nogara, 2.4 Ostiglia la Vallona, 2.5 Dossetto di Nogara, 2.6 Bovolone, 2.7 Ballabio, 2.8 Arano di Cellore, 2.9 Fondo Paviani, 2.10 Grotta dello Scoglietto, 2.11 La Sassa, 2.12 Roca Vecchia, 2.13 Sant'Abbondio, 2.14 Grotta di Uzzo, 2.15 Grotta di Donna Marsiglia, 2.16 Grotti di Sant'Angelo, 2.17 Castiglione, 2.18 Grotte Misa, 2.19 Felcetone, 2.20 Grotte Regina Margherita, 2.21 Grotta Vittorio Vecchi, 2.22 Toppo Daguzzo, 2.23 Lavello, 2.24 Trinitapoli, 2.25 Grotta della Monaca, 2.26 Grotta dell'Antenato, 2.27 Murgia Timone, 2.28 Grotta Funeraria, 2.29 Coppa Nevigata, 2.30 Punta di Zambrone, 2.31 Grotta du' Scuru, 2.32 Mereto, 2.33 Sedegliano, 2.34 Gradisca di Codroipo, 2.35 Pastena, 2.36 Tana del Barletta. 3. **Suisse** : 3.1 Rances, Champ Vully, 3.2 Vuflens la Ville, En Sency, 3.3 Tolochenaz, La Caroline-Le Boiron, 3.4 Barmaz, Collombey Muraz, 3.5 Chindrieux, Annecy. 4. **Espagne** : 4.1 El Barranquete, 4.2 Panoria, 4.3 Los Tolmos, 4.4 Coveta del Frare, 4.5 La bastida, 4.6 Gatas, 4.7 Can Roqueta, 4.8 Minferri, 4.9 Cova de la Pastora, 4.10 Cerro del Virgen, 4.11 Ondarre, 4.12 Cuesta del Negro, 4.13 Ubeda, 4.14 Baeza, 4.15 La Navilla, 4.16 Castillejo del Bonete, 4.17 La Garma, 4.18 Cova do Santo, 4.19 Esnaurreta, 4.20 Bolores. (DAO : A. Varalli, d'après fond de carte Geoatlas)

Fig. 1 – Map of Western Europe showing the sites mentioned in the text: 1. **France** : 1.1 Varennes-sur-Seine, 1.2 Ville-Saint-Jacques, 1.3 Marolles-sur-Seine, 1.4 Barbey, 1.5 Jaulnes, 1.6 Barbuise, 1.7 Machal (Dallet), 1.8 Chantemerle (Gerzat), 1.9 Le Tourteix (Orcet), 1.10 Aulnat-Zalo, 1.11 Aven Janna, 1.12 Grisy-sur-Seine, 1.13 Egligny, 1.14 Cannes-Écluse, 1.15 Grotte du Maquis, 1.16 La Tombe. 2. **Italy** : 2.1 Grotta del Pertuso, 2.2 Buco del Diavolo, 2.3 Olmo di Nogara, 2.4 Ostiglia la Vallona, 2.5 Dossetto di Nogara, 2.6 Bovolone, 2.7 Ballabio, 2.8 Arano di Cellore, 2.9 Fondo Paviani, 2.10 Grotta dello Scoglietto, 2.11 La Sassa, 2.12 Roca Vecchia, 2.13 Sant'Abbondio, 2.14 Grotta di Uzzo, 2.15 Grotta di Donna Marsiglia, 2.16 Grotti di Sant'Angelo, 2.17 Castiglione, 2.18 Grotte Misa, 2.19 Felcetone, 2.20 Grotte Regina Margherita, 2.21 Grotta Vittorio Vecchi, 2.22 Toppo Daguzzo, 2.23 Lavello, 2.24 Trinitapoli, 2.25 Grotta della Monaca, 2.26 Grotta dell'Antenato, 2.27 Murgia Timone, 2.28 Grotta Funeraria, 2.29 Coppa Nevigata, 2.30 Punta di Zambrone, 2.31 Grotta du' Scuru, 2.32 Mereto, 2.33 Sedegliano, 2.34 Gradisca di Codroipo, 2.35 Pastena, 2.36 Tana del Barletta. 3. **Switzerland** : 3.1 Rances, Champ-Vully, 3.2 Vuflens-la-Ville, En-Sency, 3.3 Tolochenaz, La Caroline-Le Boiron, 3.4 Barmaz, Collombey Muraz, 3.5 Chindrieux, Annecy. 4. **Spain** : 4.1 El Barranquete, 4.2 Panoria, 4.3 Los Tolmos, 4.4 Coveta del Frare, 4.5 La bastida, 4.6 Gatas, 4.7 Can Roqueta, 4.8 Minferri, 4.9 Cova de la Pastora, 4.10 Cerro del Virgen, 4.11 Ondarre, 4.12 Cuesta del Negro, 4.13 Ubeda, 4.14 Baeza, 4.15 La Navilla, 4.16 Castillejo del Bonete, 4.17 La Garma, 4.18 Cova do Santo, 4.19 Esnaurreta, 4.20 Bolores (CAO: A. Varalli, adapted from Geoatlas base map).

Bordeaux, resp. : V.S. Sparacello ; projet Shovel, Projet de recherche National (PRIN), resp. : B. Bramanti) apporteront prochainement de nouveaux résultats, contribuant à affiner la compréhension des régimes alimentaires de l'âge du Bronze dans la péninsule italienne.

This is particularly evident for sites in southern Italy, such as Castiglione, where individuals present higher $\delta^{13}\text{C}$ values than those recorded at sites in northern and central Italy (figs. 2 and 4), probably reflecting more open landscapes with limited canopy cover (Varalli et al., 2022).

Le Bronze ancien

Les sites analysés pour le Bronze ancien (2200-1650 av. n. è.) sont, pour le nord de l'Italie, Ballabio (Masotti *et al.*, 2019), Arano (Varalli *et al.*, 2016a), Pertuso (Varalli *et al.*, 2022), Dossetto, Mereto et Sedegliano (Tafuri *et al.*, 2009, 2018), Tana del Barletta (Morandi *et al.*, 2021) ; Grotta dello Scoglietto (Varalli *et al.*, 2016b), Grotta La Sassa (Romboni *et al.*, 2023), Grotta La Pastena (Cortese *et al.*, 2022) dans le centre, Roca Vecchia (Vincenti *et al.*, 2024), Sant'Abbondio (Tafuri, 2003), Grotte de Uzzo (Yu *et al.*, 2022), Grotte de Donna Marsiglia et Grotte de Sant'Angelo (Arena, 2017) dans le sud et Castiglione en Sicile (Varalli *et al.*, 2022). Ces sites ont fourni un total de 204 individus humains et 60 animaux. Malgré la variabilité géographique et environnementale, pendant cette période, les groupes humains de la péninsule italienne semblent majoritairement adopter une alimentation fondée sur des ressources terrestres typiques d'environnements tempérés, essentiellement composées de végétaux en C₃ (blé, orge, légumineuses) et de produits animaux issus de l'élevage de ruminants (Tafuri *et al.*, 2009 ; Varalli *et al.*, 2016a, 2016b ; Varalli *et al.*, 2022). Une exception est représentée par le site de Grotta dello Scoglietto (Toscane), où les valeurs isotopiques suggèrent une probable contribution de ressources aquatiques ou, à défaut, un régime enrichi en ¹⁵N, possiblement en lien avec une consommation importante de ressources animales comme les produits laitiers ou la viande (fig. 2 et 4) (Varalli *et al.*, 2016b). De légères variations régionales sont néanmoins observables entre les groupes, très probablement liées à des différences environnementales locales (p. ex. humidité, accès à des prairies naturelles) ainsi qu'à des stratégies de subsistance spécifiques (types de cultures, gestion des troupeaux). Cela est notamment évident pour les sites du sud de l'Italie, comme Castiglione, où les individus présentent des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ plus élevées que celles observées dans les sites du nord et du centre de la péninsule (fig. 2 et 4), vraisemblablement en lien avec un environnement plus ouvert, dépourvu de canopée (Varalli *et al.*, 2022). Une différence similaire, plutôt associée aux différences environnementales liées à la latitude entre les animaux du nord et du sud, avec des valeurs plus élevées chez ces derniers, a également été observée en France (Goude et Fontugne, 2016). Pour Sedegliano ($\delta^{13}\text{C}$ = -17,7 et -17,6 ; n=2) et Dossetto ($\delta^{13}\text{C}$ = -13,5‰. n=1), les valeurs élevées de $\delta^{13}\text{C}$ indiquent une consommation de millet. Bien que la découverte de carporestes de millet suggère une introduction plus ancienne de cette céréale en Italie du Nord (fig. 5, p. 12 dans Varalli *et al.*, 2022), les datations radiocarbone sur les grains indiquent une introduction plus récente, entre 1570 et 1410 av. n. è. (Filipović *et al.*, 2020). Ces données isotopiques attestent toutefois d'une consommation de millet antérieure à cette fourchette, remettant en question la chronologie de son introduction et, plus largement, celle de l'intégration des plantes en C₄ dans les régimes alimentaires.

A comparable pattern, attributed to latitudinal environmental differences, has also been documented in France, where animals from southern regions show higher $\delta^{13}\text{C}$ values than those from the north (Goude and Fontugne, 2016). At Sedegliano ($\delta^{13}\text{C}$ = -17.7 and -17.6; n=2) and Dossetto ($\delta^{13}\text{C}$ = -13.5‰. n=1), high $\delta^{13}\text{C}$ values indicate the consumption of millet. Although the discovery of millet carpological remains suggests an earlier introduction of this cereal into northern Italy (Fig. 5, p. 12 in Varalli *et al.*, 2022), direct radiocarbon dating of millet grains points to a later introduction, between 1570 and 1410 BCE (Filipović *et al.*, 2020). The isotopic evidence nevertheless attests to millet consumption prior to this chronological range, thereby challenging the proposed timing of its introduction and, more broadly, the chronology of the introduction of C₄ plants into human diets.

Middle Bronze Age (and Recent Bronze Age)

The sites analysed for the Middle/Recent Bronze Age (1650–1350/1300 BCE) include Olmo di Nogara, Bovolone and Fondo Paviani (Tafuri *et al.*, 2009, 2018) in northern Italy; Grotta Misa and Felcetone (Varalli *et al.*, 2016b), Grotta Vittorio Vecchi (Varalli *et al.*, 2022), Grotta Regina Margherita (Skeates *et al.*, 2021), and Grotta La Sassa (Romboni *et al.*, 2023) in central Italy; and Coppa Nevigata (Miller, 2020) Toppo Daguzzo (Tafuri *et al.*, 2009; Arena *et al.*, 2020), Lavello (Tafuri *et al.*, 2009), Trinitapoli (Ipogeo dei Bronzi) (Arena *et al.*, 2020 ; Varalli *et al.*, 2022), Grotta della Monaca, Grotta dell'Antenato, Murgia Timone and Grotta Funeraria (Arena, 2017; Arena *et al.*, 2020) in southern Italy.

These sites have yielded a total of 185 humans and 99 animals. As observed for the Early Bronze Age, carbon and nitrogen isotope results from the animal remains reveal considerable variability, reflecting different environmental conditions across the peninsula. In particular, domestic animals from the northern sites (Olmo di Nogara, Fondo Paviani), notably pigs, have higher $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values than those from the centre and south, possibly reflecting an animal diet based on fertilised plants or food waste, particularly in intensive agricultural settings. In humans, $\delta^{15}\text{N}$ values as well as human–faunal isotopic offsets ($\Delta^{15}\text{N}_{\text{humans-fauna}}$) generally indicate low to moderate consumption of animal protein across the regions studied. The lowest values are observed in the central regions (e.g. Felcetone ($\Delta^{15}\text{N}_{\text{humans-fauna}}$ = 1.2‰, Grotta Vittorio Vecchi: $\Delta^{15}\text{N}_{\text{humans-fauna}}$ = 1.8‰) and southern regions (e.g. Trinitapoli: $\Delta^{15}\text{N}_{\text{humans-fauna}}$ = 1.6‰), suggesting a limited contribution of animal resources and a predominance of plants in the diet, particularly cereals and legumes. These latter resources appear to have become increasingly important during the Middle Bronze Age in central Italy, as evidenced by archaeobotanical evidence and isotopic data from sites such as Grotta Vittorio Vecchi, Grotta Misa and other nearby sites, such as Gorgo del Ciligio (Arrighi and Moroni Lanfredini, 2007; Costantini and Costantini Biasini, 2007).

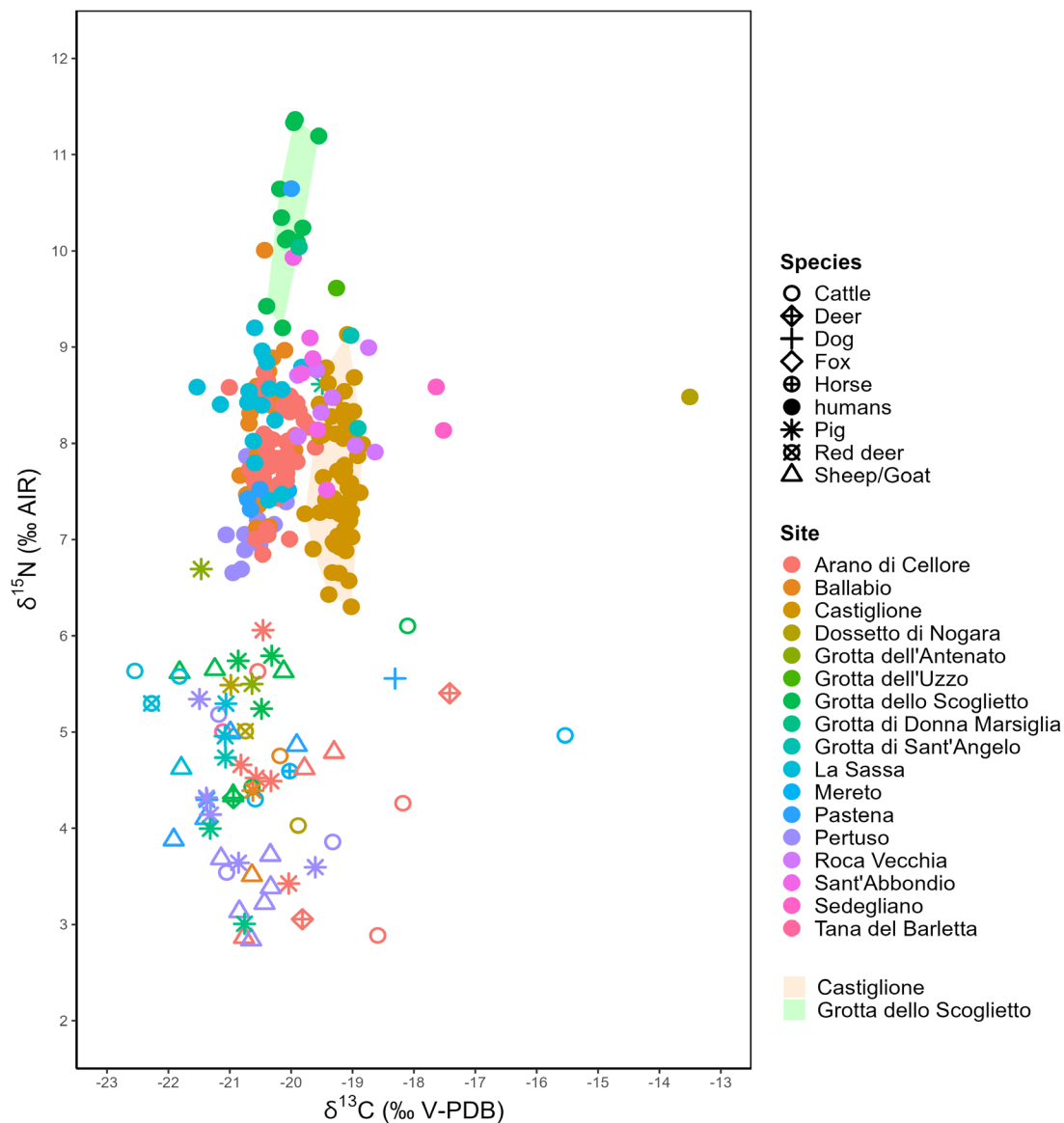


Fig. 2 – Valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ et $\delta^{13}\text{C}$ des humains et des animaux pour les sites italiens de l'âge du Bronze ancien (polygone vert : individus humains de la Grotta dello Scoglietto, polygone beige : individus humains de Castiglione).

Fig. 2 – $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values of humans and animals from Italian Early Bronze Age sites (green polygon: human individuals from Grotta dello Scoglietto; beige polygon: human individuals from Castiglione)

Le Bronze moyen (et Bronze récent)

Les sites analysés du Bronze moyen/récent (1650-1350/1300 av. n. è.) sont Olmo di Nogara, Bovolone et Fondo Paviani (Tafuri *et al.*, 2009, 2018) pour le nord de l'Italie, Grotta Misa et Felcetone (Varalli *et al.*, 2016b), Grotta Vittorio Vecchi (Varalli *et al.*, 2022), Grotta Regina Margherita (Skeates *et al.*, 2021), et Grotta La Sassa (Romboni *et al.*, 2023) dans le centre, Coppa Nevigata (Miller, 2020) Toppo Daguzzo (Tafuri *et al.*, 2009 ; Arena *et al.*, 2020), Lavello (Tafuri *et al.*, 2009), Trinitapoli (Ipogeo dei Bronzi) (Arena *et al.*, 2020 ; Varalli *et al.*, 2022), Grotta della Monaca, Grotta dell'Antenato, Murgia Timone et Grotta Funeraria (Arena, 2017 ; Arena *et al.*, 2020) dans le sud. Ces sites ont fourni un total de 185 individus humains et 99 animaux. Comme pour le Bronze ancien, les résultats isotopiques du carbone et de

For carbon, the values are widely dispersed. A slight degree of variability has already been identified for the end of the Early Bronze Age, but this pattern becomes more pronounced in the Middle Bronze Age. Three main groups with distinct dietary patterns can be identified. The first group includes sites in central and southern Italy: Trinitapoli, Lavello, Grotta dell'Antenato, Grotta della Monaca, Toppo Daguzzo, Coppa Nevigata, Grotta Regina Margherita and Grotta Vittorio Vecchi (Fig. 4). Here, human $\delta^{13}\text{C}$ values are consistent with a diet based on resources from an environment dominated by C_3 plants (wheat, barley, legumes), with limited intra-site variability. The second group comprises the sites of Grotta Misa and Felcetone in central Italy. These two communities share common characteristics. Firstly, both sites show substantial human-faunal $\Delta^{13}\text{C}_{\text{human-fauna}}$ offsets ($\text{GM} = 2.7\text{‰}$ and $\text{FEL} = 1.8\text{‰}$). Secondly, they show

l'azote des restes animaux révèlent une forte variabilité, en témoignant des différentes conditions environnementales tout au long de la péninsule. En particulier, les animaux domestiques des sites du nord (Olmo di Nogara, Fondo Paviani), notamment le porc, présentent des valeurs plus élevées en $\delta^{15}\text{N}$ et $\delta^{13}\text{C}$ que ceux du centre et du sud, ce qui peut refléter une alimentation animale basée sur des plantes fertilisées ou des déchets alimentaires, notamment dans des contextes agricoles intensifs. Chez les humains, les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ ainsi que les écarts isotopiques entre individus et faune ($\Delta^{15}\text{N}_{\text{humains-faune}}$) indiquent globalement une consommation faible à modérée de protéines animales à l'échelle des régions étudiées. Les valeurs les plus basses sont observées dans les régions centrales (p. ex. Felcetone ($\Delta^{15}\text{N}_{\text{humains-faune}} = 1.2\text{‰}$), Grotta Vittorio Vecchi : $\Delta^{15}\text{N}_{\text{humains-faune}} = 1.8\text{‰}$) et méridionales (p. ex. Trinitapoli : $\Delta^{15}\text{N}_{\text{humains-faune}} = 1.6\text{‰}$) suggérant une contribution limitée des ressources animales et une prédominance des ressources végétales dans le régime alimentaire, notamment les céréales et les légumineuses. Ces dernières deviennent de plus en plus importantes durant le Bronze moyen en Italie centrale, comme en témoignent les données archéobotaniques et les isotopes de sites tels que Grotta Vittorio Vecchi, Grotta Misa ou sites aux alentours, comme Gorgo del Ciligio (Arrighi et Moroni Lanfredini, 2007 ; Costantini et Costantini Biasini, 2007).

Pour le carbone, on remarque que les valeurs sont très dispersées. Une légère variabilité avait déjà été identifiée à la fin du Bronze ancien, mais ce phénomène s'accroît au Bronze moyen. Trois groupes principaux avec des régimes alimentaires spécifiques peuvent être identifiés. Le premier inclut des sites du centre et du sud de l'Italie : Trinitapoli, Lavello, Grotta dell'Antenato, Grotta della Monaca, Toppo Daguzzo, Coppa Nevigata, Grotta Regina Margherita et Grotta Vittorio Vecchi (fig. 4). Ici, les valeurs humaines de $\delta^{13}\text{C}$ sont cohérentes avec une alimentation à base de ressources originaires d'un environnement dominé par de plantes en C_3 (blé, orge, légumineuses), avec peu de variabilité intra-site. Le deuxième regroupe les sites de Grotta Misa et Felcetone, en Italie centrale. Ces deux communautés partagent des caractéristiques communes. Tout d'abord, ces deux sites montrent de larges décalages $\Delta^{13}\text{C}_{\text{humains-faune}}$ ($\text{GM} = 2.7\text{‰}$ et $\text{FEL} = 1.8\text{‰}$) et, ensuite, ils présentent une large variabilité intragroupe des valeurs $\delta^{13}\text{C}$ ($\text{GM} = 2.9\text{‰}$; $\text{FEL} = 3\text{‰}$) (fig. 3 et 4). La large dispersion des valeurs $\delta^{13}\text{C}$, associée à leur position intermédiaire, suggère une alimentation mixte à base de plantes C_3 et C_4 , indiquant une introduction progressive du millet. Le troisième groupe, comprenant Olmo di Nogara, Bovolone et La Sassa, présente les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ les plus élevées, atteignant -12.7‰ à Olmo di Nogara, jusqu'à -10.6‰ à Bovolone et -14.3‰ pour l'unique individu de La Sassa. Ces valeurs traduisent une contribution significative de plantes en C_4 , interprétée comme une consommation directe et régulière de millet (fig. 3 et 4). Ces sites se caractérisent également par une forte variabilité inter- et intra-individuelle ($\text{OdN} = 5\text{‰}$; $\text{BOV} = 7.9\text{‰}$), suggérant une intégration du

considérable intra-group variabilité in $\delta^{13}\text{C}$ values ($\text{GM} = 2.9\text{‰}$; $\text{FEL} = 3\text{‰}$) (figs. 3 and 4). The wide dispersion of $\delta^{13}\text{C}$ values, combined with their intermediate isotopic position, suggests a mixed diet based on both C_3 and C_4 plants, indicating a gradual introduction of millet. The third group, comprising Olmo di Nogara, Bovolone and La Sassa, presents the highest $\delta^{13}\text{C}$ values, reaching -12.7‰ at Olmo di Nogara, up to -10.6‰ at Bovolone and -14.3‰ for the single individual from La Sassa. These values reflect a significant contribution of C_4 plants, interpreted as the regular and direct consumption of millet (figs. 3 and 4). These sites are also characterised by high inter- and intra-individual variability ($\text{OdN} = 5\text{‰}$; $\text{BOV} = 7.9\text{‰}$), suggesting that millet was integrated into the diet in variable proportions among individuals. The consumption of millet is also attested in animals, particularly the pigs of Fondo Paviani, indicating its role in animal husbandry practices (Tafuri et al., 2018). These findings are consistent with the archaeobotanical data documenting the presence of millet caryopses at several sites in northern Italy (e.g. Terramare di Montale, Lavagnone, S. Giulia) (Rottoli and Castiglioni, 2009; Filipović et al., 2020; Mercuri et al., 2006).

To summarise, the Middle Bronze Age marks a turning point in dietary practices on the Italian Peninsula. The data reveal significant variations, both in comparison with the Early Bronze Age and within the Middle Bronze Age itself (Fig. 4). Consumption of animal protein was generally low. In northern Italy, the diet is primarily based on C_4 plants, such as millet, which is also integrated into animal husbandry practices, particularly in pig feeding, for which the data suggest partial consumption of human-derived food waste. In central Italy, C_3 plants remain dominant, although C_4 plants begin to appear alongside a significant presence of legumes. In southern Italy, dietary variability is lower, both within and between sites. Indeed, despite the apparent absence of C_4 plant consumption (or levels too low to be detected), isotopic values show a notable overlap, with relatively limited variation, for both nitrogen and carbon (Fig. 4). Overall, these patterns suggest a gradual spread of millet from north to south, slowly replacing wheat and barley, or becoming, at certain times of the year, the dominant cereal in the diet.

Recent and Final Bronze Age

The sites analysed for the Recent and Final Bronze Age (1350/1300 – 950/925 BCE) include Ostiglia, Buco del Diavolo (Varalli et al., 2022) and Gradisca di Codroipo (Tafuri et al., 2018) in northern Italy, and Punta di Zambrone (Rumolo et al., 2020) and Grotta du' Scuru (Arena, 2017) in southern Italy, for a total of 19 humans and 40 animals. The end of the Bronze Age is poorly documented due to the widespread practice of cremation, which substantially reduces the number of inhumation-based contexts suitable for isotopic analysis. The carbon and nitrogen isotope values in animals show high variability, particularly for $\delta^{13}\text{C}$. Animals from the south, at Punta di Zam-

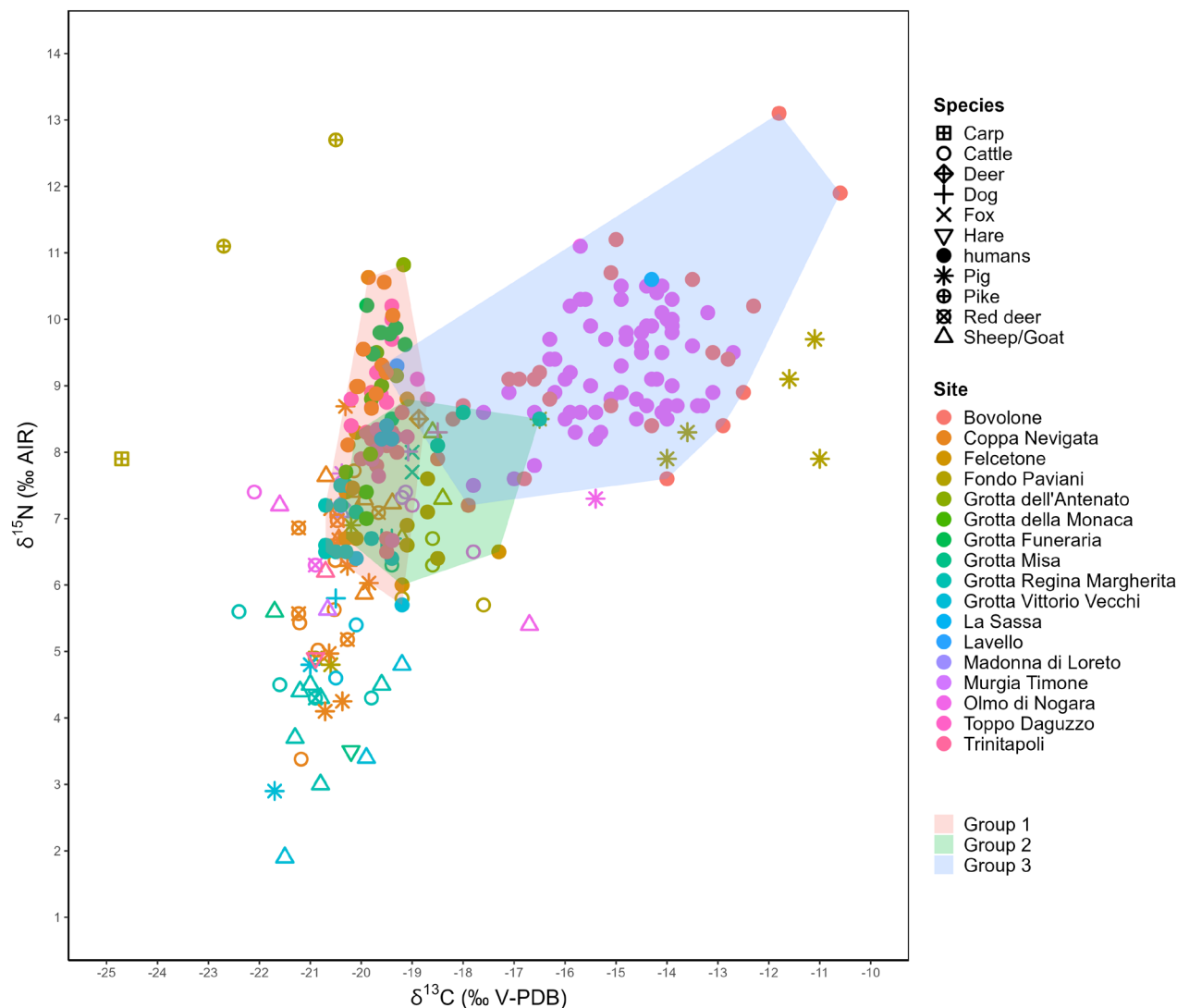


Fig. 3 – Les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ et $\delta^{13}\text{C}$ des humains et des animaux des sites italiens de l'âge du Bronze moyen-récent (groupe 1 = orange, groupe 2 = vert, groupe 3 = bleu).

Fig. 3 – The $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values of humans and animals from Italian Middle-Recent Bronze Age sites (group 1 = orange, group 2 = green, group 3 = blue).

millet dans l'alimentation selon des proportions variables entre individus. La consommation de millet est également attestée chez les animaux, notamment les porcs de Fondo Paviani, indiquant son rôle dans les pratiques d'élevage (Tafari *et al.*, 2018). Ces résultats sont cohérents avec les données archéobotaniques, qui documentent la présence de carpores de millet dans plusieurs sites du nord de l'Italie (p. ex. Terramare di Montale, Lavagnone, S. Giulia) (Rottoli et Castiglioni, 2009 ; Filipović *et al.*, 2020 ; Mercuri *et al.*, 2006).

En résumé, le Bronze moyen marque un tournant dans les pratiques alimentaires dans la péninsule italienne. Les données révèlent des variations significatives, tant par rapport au Bronze ancien qu'au sein même du Bronze moyen (fig. 4). Une faible consommation de protéines animales est générale. Dans le nord, l'alimentation repose principalement sur des plantes en C_4 , telles que le millet, également intégrées à l'alimentation animale, en particulier

brone, have higher $\delta^{13}\text{C}$ values than those from the north. Although the influence of environmental conditions linked to latitude - previously observed for the Early Bronze Age, cannot be entirely ruled out, the patterns observed here appear more strongly related to differences in diet. Animals from northern Italy (Buco del Diavolo, Ostiglia, Gradisca di Codroipo) appear to have been fed mainly on C_3 plants, whilst those from the south, or at least some of them, may have consumed seaweed or, more likely, a mixture of C_3 and C_4 plants, consistent with the archaeobotanical evidence from Punta di Zambrone (Jung *et al.*, 2015).

In humans, the isotopic differences between humans and animals ($\Delta^{13}\text{C}_{\text{humans-animals}}$ and $\Delta^{15}\text{N}_{\text{humans-animals}}$) reveal several dietary patterns. At Punta di Zambrone, these offsets are low ($\Delta^{13}\text{C}_{\text{humans-animals}} = 0.9\text{‰}$ and $\Delta^{15}\text{N}_{\text{humans-animals}} = 2.5\text{‰}$), suggesting a shared diet based on C_3 – C_4 plants. At Ostiglia and Buco del Diavolo, higher offsets are observed (up to 8.0‰ for $\delta^{13}\text{C}$), indicating a significant

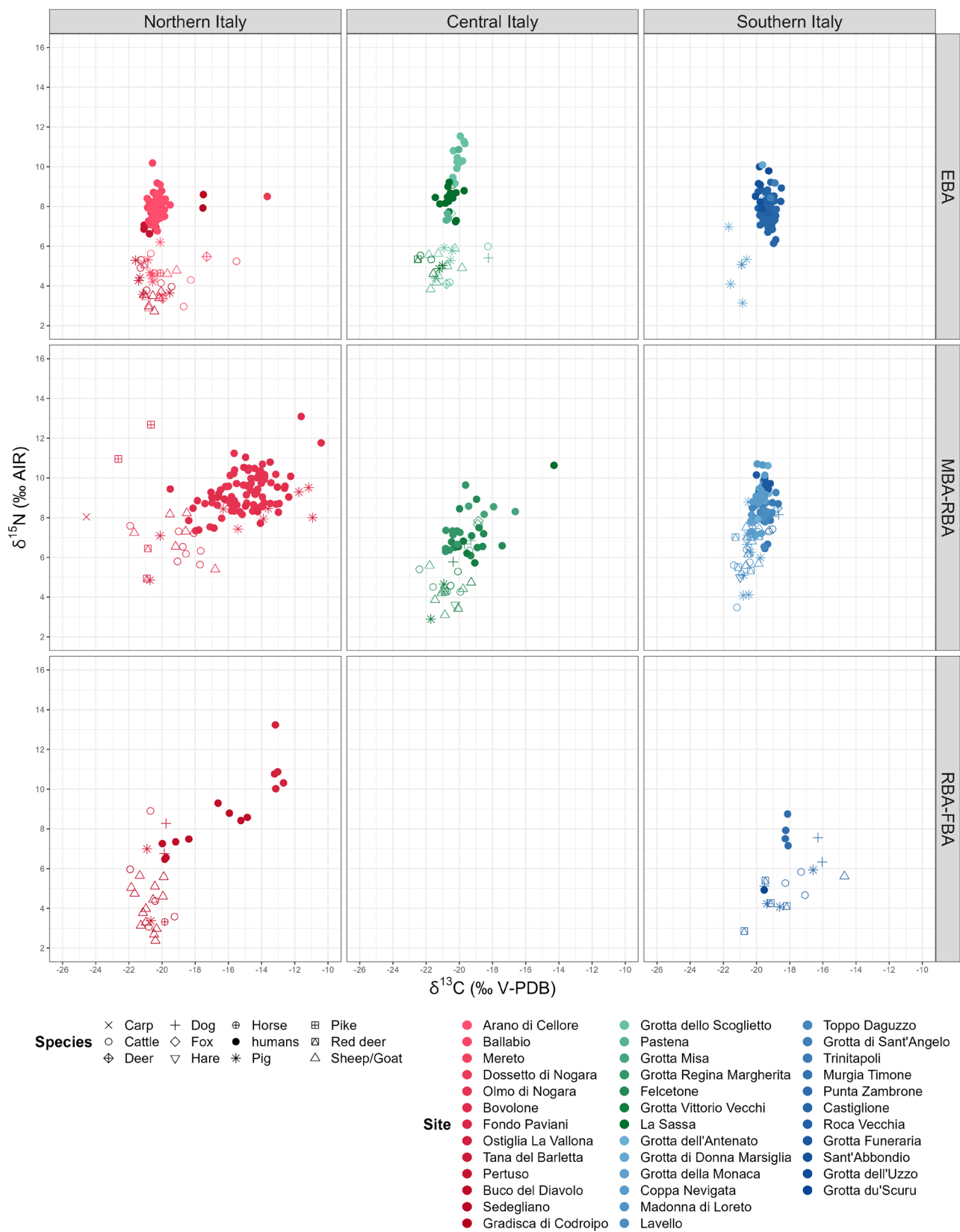


Fig. 4 – Valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ et $\delta^{13}\text{C}$ des humains et des animaux pour les sites italiens de l'âge du Bronze.

Fig. 4 – $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values of humans and animals from Italian Bronze Age sites.

celle du porc, pour lequel les données suggèrent une consommation partielle de déchets alimentaires d'origine humaine. En Italie centrale, les plantes C_3 restent majoritaires, mais les C_4 commencent à apparaître, avec en parallèle une importance notable des légumineuses.

consumption of resources enriched in ^{13}C , such as millet (Fig. 4). As previously discussed, millet consumption begins as early as the Early/Middle Bronze Age, and these results indicate that this trend continues into later periods. Furthermore, humans mainly consumed these C_4

Dans le sud, la variabilité alimentaire est plus faible, tant à l'échelle intra-site qu'inter-site. En effet, malgré l'absence de consommation de plantes en C_4 (ou une consommation éventuellement trop faible pour être détectée), on observe une superposition notable des valeurs, avec une dispersion relativement restreinte, tant pour l'azote que pour le carbone (fig. 4). On observe donc une diffusion progressive du millet du nord vers le sud, remplaçant progressivement le blé et l'orge, ou devenant, pour certaines périodes de l'année, la céréale dominante dans l'alimentation.

Le Bronze récent et final

Les sites analysés pour le Bronze récent et final (1350/1300-950/925 av. n. è.) sont Ostiglia, Buco del Diavolo (Varalli *et al.*, 2022), et Gradisca di Codroipo (Tafuri *et al.*, 2018) dans le nord et Punta di Zambrone (Rumolo *et al.*, 2020) et Grotta du' Scuru (Arena, 2017) dans le sud, pour un total de 19 individus humains et 40 animaux. La fin de l'âge du Bronze est peu documentée en raison de la généralisation de la crémation, qui réduit le nombre de sites à inhumation. Les valeurs isotopiques du carbone et de l'azote chez les animaux montrent une forte variabilité, notamment pour le $\delta^{13}C$: les animaux du sud, à Punta di Zambrone, ont des valeurs $\delta^{13}C$ plus élevées que ceux du nord. Bien que l'influence des conditions environnementales liées à la latitude, déjà observée pour le Bronze ancien, ne puisse être totalement exclue, les résultats semblent plus attribuables à des différences de régimes alimentaires. Les animaux du nord de l'Italie (Buco del Diavolo, Ostiglia, Gradisca di Codroipo) semblent avoir été nourris principalement avec des plantes en C_3 , tandis que ceux du sud, ou du moins une partie d'entre eux, auraient consommé des algues marines ou, plus probablement, un mélange de plantes en C_3 et en C_4 , en cohérence avec les restes archéobotaniques mis au jour à Punta di Zambrone (Jung *et al.*, 2015).

Chez les humains, les écarts isotopiques humains-animaux ($\Delta^{13}C_{\text{humains-animaux}}$ et $\Delta^{15}N_{\text{humains-animaux}}$) révèlent plusieurs profils alimentaires. À Punta di Zambrone, ces écarts sont faibles ($\Delta^{13}C_{\text{humains-animaux}} = 0,9\text{‰}$ et $\Delta^{15}N_{\text{humains-animaux}} = 2,5\text{‰}$), suggérant un régime partagé à base de plantes C_3 - C_4 . À Ostiglia et Buco del Diavolo, les écarts sont plus élevés (jusqu'à 8,0‰ pour le $\delta^{13}C$, indiquant une consommation marquée de ressources enrichies en ^{13}C , comme le millet (fig. 4). Comme évoqué précédemment, la consommation de millet commence dès le Bronze ancien/moyen, et ces résultats montrent que cette tendance se poursuit à l'époque suivante. De plus, les humains consommaient principalement ces plantes en C_4 de manière directe, puisque les animaux n'en portent pas la signature isotopique. Les écarts isotopiques de l'azote entre les humains animaux à Ostiglia ($\Delta^{15}N_{\text{humains-animaux}} = 4,4\text{‰}$) et à Buco del Diavolo ($\Delta^{15}N_{\text{humains-animaux}} = 4,0\text{‰}$) suggèrent également que les protéines animales et/ou les ressources aquatiques occupaient une place importante dans l'alimentation.

Compte tenu de la localisation géographique de Buco del Diavolo, en Ligurie, à plus de 1000 m d'altitude, et

plants directement, as the animals do not show a corresponding isotopic signature. The nitrogen isotope differences between humans and animals at Ostiglia ($\Delta^{15}N_{\text{humains-animaux}} = 4.4\text{‰}$) and at Buco del Diavolo ($\Delta^{15}N_{\text{humains-animaux}} = 4.0\text{‰}$) also suggest that animal proteins and/or aquatic resources played a significant role in the diet.

Given the geographical location of Buco del Diavolo, in Liguria, at an altitude exceeding 1,000 metres, and Ostiglia in the Po Valley, at the heart of one of the most economically developed regions of the Bronze Age, as well as the environmental contrasts between these two sites, such dietary diversity is not unexpected. Furthermore, studies on animal management during the Final Bronze Age in the Po Plain indicate that, although the economy relied on agriculture, pigs were slaughtered at young age to exploit the quality of their meat, whereas cattle and caprines were raised until maturity to exploit their secondary products (milk, wool, etc.). These results, which confirm the importance of animal proteins in the diet, show that livestock were managed in a targeted manner according to their intended use.

Finally, the wide diversity of dietary practices during the Recent and Final Bronze Age, compared to earlier stages, is also evident at the intra-group scale, notably at Buco del Diavolo. This is the first time that such a diversity of dietary strategies has been observed among individuals from the same community in the Italian Peninsula (Varalli *et al.*, 2015, 2022).

France

To date, isotopic studies investigating dietary practices in France during Bronze Age remain limited and focus primarily on two regions: Auvergne and the Île-de-France region (the Seine Valley) (Fig. 1). However, ongoing research programmes – such as the PCR *Bronz'Pal* project dedicated to Burgundy (2024–2026, dir. R. Peake) and the collaborative ANR BronzEATS project (2026–2029, dir. R. Peake, co-dir. A. Varalli, C. Mordant, V. Balter) – are expected to refine our understanding of dietary habits and their transformations during the Bronze Age in France.

Early and Middle Bronze Age

To date, seven Early Bronze Age cemeteries in France have been investigated through isotopic analyses. In the north of the country, only one site has been studied: Marolles-sur-Seine (Varalli *et al.*, 2023). In the southern half, research has focused on several sites in Auvergne – Chantemerle (Gerzat), Machal (Dallet), Le Tourteix (Orcet) (Herrscher *et al.*, 2014; Herrscher et Goude, 2017) and Aulnat-Zalo (unpublished data, Chevallier, 2022) – as well as the Aven Janna site in Occitania, together with the associated faunal assemblage from the Grotte du Maquis. (Le Roy *et al.*, 2022). Altogether, the dataset comprises 73 humans and 50 animal remains (Fig. 1).

The animal isotopic data, both in northern and southern France, indicate diets derived from environments

d'Ostiglia, dans le bassin du Pô, au cœur de l'une des régions les plus développées à l'âge du Bronze, ainsi que des contrastes environnementaux entre ces deux sites, il n'est pas surprenant qu'une telle diversité alimentaire y soit observée. Par ailleurs, des études sur la gestion animale durant le Bronze final dans la plaine du Pô indiquent que, bien que l'économie reposât sur l'agriculture, les porcs étaient abattus avant l'âge adulte pour profiter de la qualité de leur viande, tandis que les bovins et caprinés étaient élevés jusqu'à maturité pour exploiter leurs ressources secondaires (lait, laine, etc.). Ces résultats, qui confirment l'importance des protéines animales dans l'alimentation, montrent que les animaux étaient gérés de manière ciblée selon leurs ressources et leur usage prévu.

Enfin, la grande diversité des pratiques alimentaires au Bronze récent et final, par rapport aux étapes précédentes, se manifeste également à l'échelle intra-groupe, notamment à Buco del Diavolo. C'est la première fois qu'une telle diversité de stratégies alimentaires est observée entre individus d'une même communauté dans la péninsule italienne (Varalli *et al.*, 2015, 2022).

La France

À ce jour, les études isotopiques consacrées aux régimes alimentaires en France sont encore limitées et se concentrent principalement sur deux régions, l'Auvergne et l'Île-de-France (vallée de la Seine) (fig. 1). Toutefois, des programmes de recherche en cours, tels que le projet PCR *BronzePal* consacré à la Bourgogne (2024-2026, resp. R. Peake) et le projet collaboratif ANR *BronzEats* (2026-2029, resp. R. Peake, co- resp. A. Varalli, C. Mordant, V. Balter), contribueront de manière déterminante à affiner la compréhension des dynamiques alimentaires et de leurs transformations au cours de l'âge du Bronze en France.

Le Bronze ancien et moyen

À ce jour, sept nécropoles attribuées à l'âge du Bronze ancien ont fait l'objet d'analyses isotopiques en France. Dans le nord du pays, un seul site a été étudié : Marolles-sur-Seine (Varalli *et al.*, 2023). Dans la moitié sud, les recherches concernent plusieurs sites auvergnats – Chantemerle (Gerzat), Machal (Dallet), Le Tourteix (Orcet) (Herrscher *et al.*, 2014 ; Herrscher et Goude, 2017) et Aulnat-Zalo (données inédites, Chevallier, 2022) – ainsi que le site de l'Aven Janna en Occitanie, accompagné de la faune associée de la Grotte du Maquis (Le Roy *et al.*, 2022). L'ensemble constitue un corpus de 73 individus humains et de 50 restes animaux (fig. 1).

Les données isotopiques de la faune, tant dans les régions septentrionales que méridionales, indiquent une alimentation issue d'un environnement dominé par des plantes en C₃, conformément à ce qui a déjà été observé en Italie. Toutefois, un gradient isotopique d'ordre géographique est perceptible, caractérisé par des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ plus élevées dans le sud de la France par rapport au nord (Herrscher et Varalli, 2025), tendance déjà attestée

dominée par C₃ plants, consistant avec ce qui a déjà été observé en Italie. Cependant, un gradient géographique isotopique est discernable, caractérisé par des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ plus élevées dans le sud de la France comparé au nord (Herrscher et Varalli, 2025), – une tendance déjà documentée pour la faune néolithique (Goude et Fontugne, 2016). Cette différence pourrait être attribuée à des facteurs environnementaux – tels que la température, l'humidité, ou les types de sols – ou alternativement à des pratiques agricoles distinctes.

Overall, the data relating to human individuals indicate that the diet relied principally on terrestrial plant and animal resources originating from environments dominated by C₃ plants (Fig. 5). However, certain regional specificities can be highlighted. In the south of France, where the majority of the available isotopic data are concentrated, the sites of Machal, Chantemerle, Le Tourteix and Aulnat-Zalo in Auvergne reflect dietary regimes in which meat from domestic livestock played a major role. Inter-individual variability may be explained by differential access to animal products, potentially linked to dietary specialization or social hierarchy (Herrscher *et al.*, 2014; Herrscher and Goude, 2017; Chevallier, 2022). Furthermore, the data suggest a preferential consumption of pork relative to caprines and cattle, probably linked to its proximity and accessibility within the domestic space. In Occitania, the results from the Aven Janna indicate a diet based on terrestrial resources, mainly plant foods and cattle-derived products (Le Roy *et al.*, 2022). Nevertheless, for this site, interpretation is limited by the reliance on a Neolithic animal baseline rather than contemporaneous animal remains.

In northern France, isotopic data are limited and come from the site of Marolles-sur-Seine (Île-de-France). The only available faunal data derive from red deer (*Cervus elaphus*), which, although consumed, unlikely constituted the primary source of animal protein during this period. Consequently, and with due caution, the faunal baseline used for comparison relies on domestic animal data from the Final Bronze Age. Therefore, for the individuals from Marolles-sur-Seine – five of whom are attributed to the Early Bronze Age and the Early-to-Middle Bronze Age transition, and one to the Middle Bronze Age – the diet is based on C₃-type terrestrial resources (wheat, barley), combined with protein intake from both ruminants and pigs in relatively homogenous proportions (Varalli *et al.*, 2023). However, the ^{13}C -enrichment observed between humans and fauna exceeds 1‰, suggesting an estimated contribution of $21.1\% \pm 10.2\%$ from resources more enriched in ^{13}C , such as millet, according to Bayesian modelling performed using the FRUITS software (Varalli *et al.*, 2023). Given the limited nature of the available data, for both fauna and human individuals, further research will be essential to strengthen and refine this preliminary framework.

Final Bronze Age

Isotopic research on the Final Bronze Age in France has focused on the north of the country, principally in

pour les faunes néolithiques (Goude et Fontugne, 2016). Cette différence pourrait être attribuée à des facteurs environnementaux – tels que la température, l’humidité ou la nature des sols – ou encore à des pratiques agricoles distinctes.

De manière générale, les données relatives aux individus humains indiquent que l’alimentation reposait principalement sur l’exploitation de ressources terrestres, végétales et animales, issues d’un environnement dominé par les plantes en C_3 (fig. 5). Toutefois, certaines spécificités régionales peuvent être mises en évidence. Dans le sud de la France, où se concentrent la majorité des données isotopiques disponibles, les sites de Machal, Chantemerle, Le Tourteix et Aulnat-Zalo en Auvergne témoignent d’un régime dans lequel la consommation de viande issue de l’élevage occupe une place prépondérante, avec des variations inter-individuelles qui s’expliqueraient par une spécialisation ou une hiérarchisation dans l’accès aux produits animaux (Herrscher *et al.*, 2014 ; Herrscher et Goude, 2017 ; Chevallier, 2022). Les données suggèrent par ailleurs une consommation préférentielle du porc par rapport aux ovins et bovins, probablement en lien avec sa proximité et son accessibilité dans l’espace domestique. En Occitanie, les résultats issus du site de l’Aven Janna indiquent une alimentation également centrée sur des ressources terrestres, majoritairement végétales et bovines (Le Roy *et al.*, 2022). Néanmoins, pour ce site, l’interprétation est limitée par le recours à un référentiel faunique néolithique et non contemporain des individus analysés.

Dans le nord de la France, les données isotopiques sont limitées et proviennent du site de Marolles-sur-Seine (Île-de-France). Les seules données fauniques concernent le cerf élaphe qui, bien que consommé, ne constituait vraisemblablement pas la principale source de protéines animales à cette période. En conséquence, et avec les précautions d’usage, le référentiel faunique retenu repose sur les données issues des animaux domestiques du Bronze final. Ainsi, pour les individus de Marolles-sur-Seine – dont cinq sont attribués au Bronze ancien et à la transition Bronze ancien-moyen, et un au Bronze moyen – le régime alimentaire semble fondé sur des ressources terrestres de type C_3 (blé, orge), associées à des apports protéiques issus à la fois de ruminants et de porcs dans des proportions relativement homogènes (Varalli *et al.*, 2023). Toutefois, l’enrichissement en ^{13}C observé entre les humains et la faune dépasse 1‰, ce qui suggère une contribution estimée à $21,1\% \pm 10,2\%$ de ressources plus enrichies en ^{13}C , telles que le millet, selon une modélisation effectuée à l’aide de l’outil bayésien FRUITS (Varalli *et al.*, 2023). Compte tenu du caractère restreint des données disponibles, tant pour la faune que pour les individus humains, des recherches supplémentaires seront indispensables afin de consolider ce premier cadre interprétatif.

Le Bronze final

Les recherches isotopiques relatives à l’âge du Bronze final en France se sont focalisées sur le nord du pays, principalement dans la vallée de la Seine. Les

the Seine Valley. The human individuals analysed came from the necropolises of Barbey, Marolles-sur-Seine, Varennes-sur-Seine, and Jaulnes in Seine-et-Marne (Varalli *et al.*, 2023), as well as from Barbuise in Aube. (Goude *et al.*, 2017). The faunal data, derived principally from Barbuise and Barbey, is supplemented by remains from neighbouring sites in the Seine Valley (Ville-Saint-Jacques, Cannes-Écluse, La Tombe, Châtenay-sur-Seine, Barbey, Égligny and Grisy-sur-Seine). This corpus is further enriched by unpublished data recently produced within the framework of the *Bronz’Pal* PCR project (directed by R. Peake), also from the Seine Valley, together with two individuals from Aulnat attributed to the Final Bronze Age (unpublished data, Chevallier 2022). Altogether, the dataset comprises 44 humans and 37 animals.

The isotopic values measured for the fauna show consistency across the sites of Île-de-France and south-eastern Champagne, indicating that the animals predominantly consumed C_3 -type resources (Fig. 5). In contrast, the human data reveal heterogeneous dietary practices, marked by a notable variability in animal protein intake at both intra- and inter-regional scales, as well as a contribution from plant proteins from both C_3 and C_4 plants. In particular, the first evidence of a moderate yet significant consumption of millet has been identified in both regions (Goude *et al.*, 2017; Varalli *et al.*, 2023).

At Barbuise, the combined analyses of collagen and bioapatite suggest that the diet was based on the consumption of animals feeding on C_3 plants, supplemented by various cereals, including millet (Goude *et al.*, 2017). Isotopic modelling indicates that 22 to 36% of the diet could have come from millet, contributing to the ^{13}C -enrichment observed in the human tissue. The high frequency of millet grains recovered from nearby Bronze Age settlements, together with the detection of miliacin – the chemical marker exclusively associated with *Panicum miliaceum* – corroborate the consumption of C_4 plants (Bouby *et al.*, 2017; Toulemonde *et al.*, 2017, 2022; Courel *et al.*, 2017). At Barbey, however, the $\delta^{13}C$ values show a marked heterogeneity: some individuals show relatively high values (mean = $-18.5 \pm 0.3\%$, $n = 6$), indicating substantial consumption of C_4 plants, while others (mean = $-19.6 \pm 0.3\%$, $n = 11$) relied predominantly on C_3 resources. The FRUITS Bayesian modelling confirms this variability, indicating a comparable contribution from C_3 ($29.1\% \pm 19.7\%$) and C_4 plants ($30.2\% \pm 9.6\%$), as well as a protein intake slightly oriented towards a preference for pork ($17.4\% \pm 13.5\%$) compared to ruminants ($16\% \pm 12.2\%$). However, the magnitude of the standard deviations highlights the wide dispersion of possible solutions, indicating that these estimates must be interpreted as distributions of plausible contributions rather than unique, representative central values. The sulphur isotope results provide additional insight: while $\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$ values do not reveal any dietary differences between males and females, $\delta^{34}S$ values show significant divergences between sex, suggesting either differentiated dietary practices or distinct geographical origins (Varalli *et al.*, 2023). The individual from Varennes-sur-Seine,

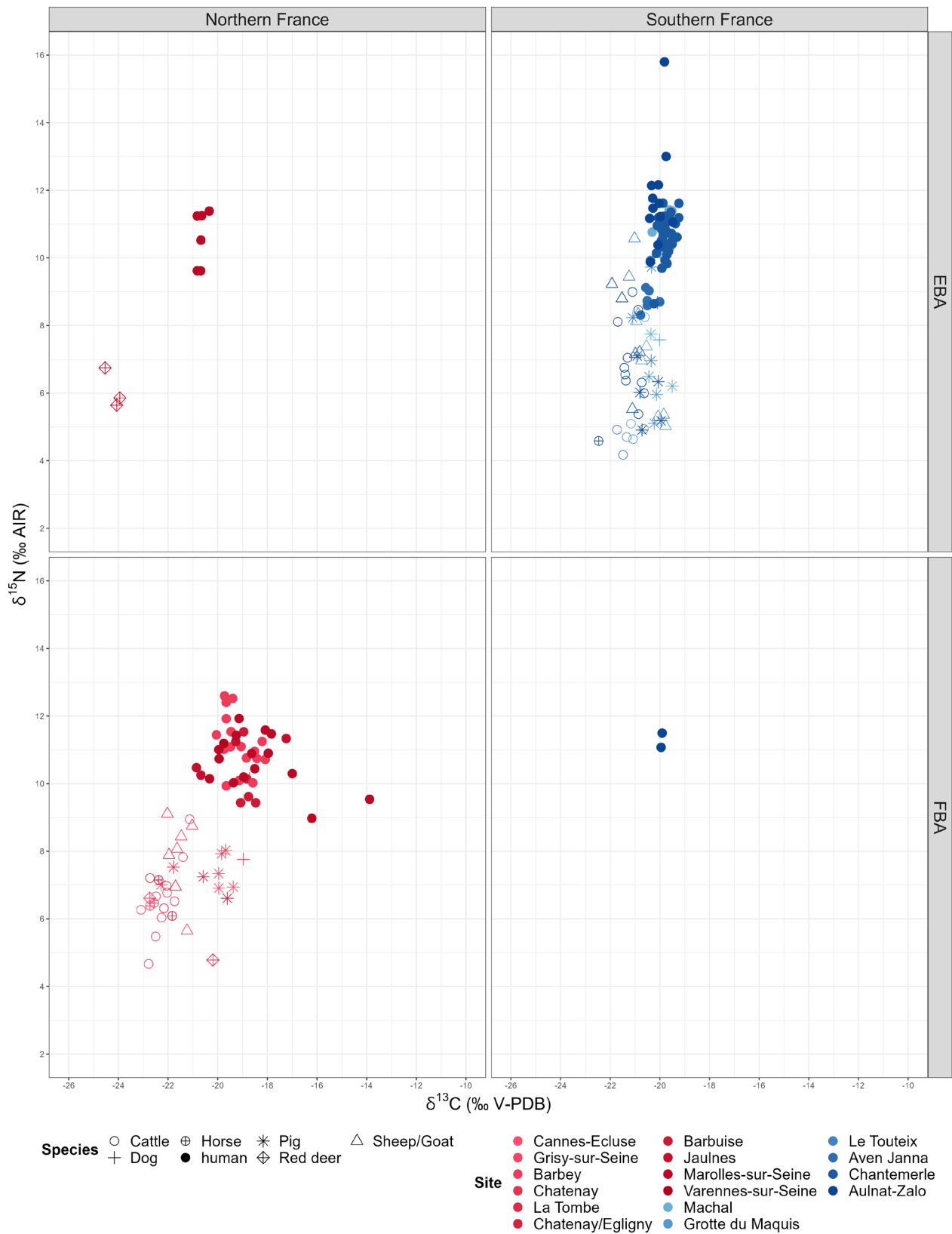


Fig. 5 – Valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ et $\delta^{13}\text{C}$ des humains et des animaux pour les sites français de l'âge du Bronze.

Fig. 5 – $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values of humans and animals from French Bronze Age sites.

individus humains analysés proviennent des nécropoles de Barbey, Marolles-sur-Seine, Varennes-sur-Seine et Jaulnes en Seine-et-Marne (Varalli *et al.*, 2023), ainsi que de Barbuise dans l'Aube (Goude *et al.*, 2017). Les données fauniques issues principalement de Barbuise et

also dated to the beginning of the Final Bronze Age, fits into this variability, with a mixed diet combining C_3 and C_4 plants and a balanced intake of herbivore and omnivore proteins. Around twenty kilometres upstream in the valley, at Jaulnes, the isotopic variability of the

de Barbey, sont complétées par des restes issus de sites voisins de la vallée de la Seine (Ville-Saint-Jacques, Cannes-Écluse, La Tombe, Châtenay-sur-Seine, Barbey, Égligny et Grisy-sur-Seine). À ce corpus s'ajoutent des données inédites, récemment produites dans le cadre du projet PCR *BronzPal* (dir. R. Peake), également tirées de la vallée de la Seine, ainsi que deux individus d'Aulnat attribués au Bronze final (données inédites, Chevallier 2022). L'ensemble représente un corpus total de 44 individus humains et 37 animaux.

Les valeurs isotopiques mesurés sur la faune présentent une cohérence entre les sites d'Île-de-France et du sud-est de la Champagne, indiquant que les animaux consommaient majoritairement des ressources de type C_3 (fig. 5). En revanche, les données humaines révèlent des pratiques alimentaires hétérogènes, marquées par une variabilité notable de l'apport en protéines animales, tant à l'échelle intra- qu'inter-régionale, ainsi que par une contribution des protéines d'origine végétale issues de plantes en C_3 et en C_4 . On observe en particulier les premières preuves d'une consommation modérée mais significative de millet dans les deux régions (Goude *et al.*, 2017 ; Varalli *et al.*, 2023).

À Barbuise, les analyses combinées du collagène et de la bioapatite suggèrent que le régime alimentaire reposait sur la consommation d'animaux se nourrissant de plantes en C_3 , complétée par différentes céréales incluant le millet (Goude *et al.*, 2017). La modélisation isotopique indique que 22 à 36% de l'alimentation pourrait provenir du millet, contribuant à l'enrichissement en ^{13}C observé dans les tissus humains. Le nombre élevé d'occurrences des carporestes de millet dans les habitats de l'âge du Bronze situés à proximité du site, ainsi que la détection de la miliacine, le marqueur chimique strictement associé à *Panicum miliaceum*, corroborent la consommation de plantes en C_4 , et permettent ainsi d'expliquer les valeurs isotopiques observées (Bouby *et al.*, 2017 ; Toulemonde *et al.*, 2017, 2022 ; Courel *et al.*, 2017).

À Barbey, les valeurs de $\delta^{13}C$ montrent en revanche une forte hétérogénéité : certains individus présentent des valeurs élevées (moyenne = $-18,5 \pm 0,3\text{‰}$, $n = 6$), témoignant d'une consommation notable de plantes en C_4 , tandis que d'autres (moyenne = $-19,6 \pm 0,3\text{‰}$, $n = 11$) semblent dépendre de ressources en C_3 . La modélisation bayésienne FRUITS confirme cette variabilité, indiquant une contribution comparable des plantes en C_3 ($29,1\% \pm 19,7\%$) et en C_4 ($30,2\% \pm 9,6\%$), ainsi qu'un apport protéique légèrement orienté vers une préférence pour la viande porcine ($17,4\% \pm 13,5\%$), par rapport aux ruminants ($16\% \pm 12,2\%$). Toutefois, l'ampleur des écarts-types souligne la grande dispersion des solutions possibles, indiquant que ces estimations doivent être interprétées comme des distributions de contributions plausibles plutôt que comme des valeurs centrales représentatives uniques. Les résultats concernant les valeurs du soufre apportent un éclairage supplémentaire : si les valeurs de $\delta^{13}C$ et $\delta^{15}N$ ne révèlent pas de différences entre sexes, les $\delta^{34}S$ montrent des divergences significatives entre hommes et femmes, suggérant soit des pratiques alimentaires différenciées, soit des origines

individuels est particulièrement prononcée. Although the $\delta^{15}N$ values are relatively homogenous, the $\delta^{13}C$ values present a wide range ($\Delta^{13}C = 3,7\text{‰}$). The individuals dated to the Middle Bronze Age and the beginning of the Final Bronze Age suggest a limited consumption of C_4 plants (less than 20%), whereas from the middle phase of the Middle Final Bronze Age onwards, the contribution of C_4 plants reaches up to 45%, accompanied by an increase in the consumption of omnivore proteins. The sulphur isotope analyses indicate an occasional contribution of freshwater resources, probably from the Seine River, although the absence of a local faunal baseline limits the robustness of this interpretation (Varalli *et al.*, 2023).

In general, the $\delta^{15}N$ values are higher downstream in the Upper Seine Valley than upstream at Barbuise, possibly reflecting a higher consumption of animal proteins or variations in the trophic level of the exploited animal resources.

In conclusion, the analysis of sites with long chronological sequences, such as Marolles-sur-Seine, where individuals span the Early Bronze Age to the Final Bronze Age, reveals a gradual shift in dietary practices throughout the Bronze Age. Isotopic data show an increase in both $\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$, particularly in $\delta^{13}C$, consistent with a growing contribution of C_4 plants to the diet. At the same time, dietary patterns become more diverse, with increased consumption of pork alongside cattle and caprine derived products, including both meat and dairy (Fig. 5).

Switzerland

In Switzerland, isotope data relating to the Bronze Age are limited to western Switzerland. To date, just one site is documented for each chronological phase: Collobey-Muraz, Barmaz (Valais) for the Early Bronze Age, Vufflens-la-Ville, En Sancy (Vaud) for the Middle Bronze Age, and Tolochenaz (Vaud) for the Final Bronze Age (Fig. 1). Although limited, particularly due to the small number of necropolises analysed for the Bronze Age, these results provide a valuable contribution to the understanding of the dietary practices in Switzerland. However, additional studies will be required to confirm and refine the trends currently observed.

Early and Middle Bronze Age

For the Early Bronze Age in Switzerland, the isotope data comes from the necropolis of Collombey-Muraz, Barmaz (Valais), in the Valaisan Chablais, around fifteen kilometers from the oriental limit of Lake Geneva. The site includes the cemeteries of Barmaz I and II as well as the occupation levels of Refuge hill. The Barmaz I necropolis (2200–1550 BCE), from which the analysed individuals originate, includes 15 individual burials. Anthropological analyses identified 12 adults of both sexes, 2 children, and one undetermined individual. Grave goods, present in only 7 graves, are modest (pins, spiral rings, beads, a double-spiral pendant, a dagger, an

géographiques distinctes (Varalli *et al.*, 2023). L'individu analysé de la nécropole de Varennes-sur-Seine, également daté du début du Bronze final, s'inscrit dans cette variabilité, avec un régime mixte combinant plantes en C₃ et C₄ et un apport équilibré en protéines d'herbivores et d'omnivores. À une vingtaine de kilomètres en amont dans la vallée, à Jaulnes, la variabilité isotopique des individus est particulièrement marquée : si les $\delta^{15}\text{N}$ restent relativement homogènes, les $\delta^{13}\text{C}$ présentent une amplitude importante ($\Delta^{13}\text{C} = 3,7\text{‰}$). Les individus datés du Bronze moyen et du début du Bronze final suggèrent d'une faible consommation de plantes C₄ (< 20%), tandis qu'à partir de l'étape moyenne du Bronze final moyen, cette contribution atteint jusqu'à 45%, accompagnée d'un accroissement de la consommation de protéines omnivores. Les analyses des isotopes du soufre indiqueraient une contribution ponctuelle de ressources dulçaquicoles, probablement issues de la Seine, bien que l'absence de référentiel faunique local limite cette interprétation (Varalli *et al.*, 2023).

De manière générale, les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ sont plus élevées en aval de la vallée de la Haute Seine qu'en amont (Barbuise), ce qui pourrait refléter une consommation plus importante de protéines animales ou des variations dans le niveau trophique des ressources animales exploitées.

Pour conclure, l'examen des sites disposant d'une longue séquence chronologique, comme Marolles-sur-Seine, où les individus couvrent la période du Bronze ancien au Bronze final, met en évidence une évolution progressive des pratiques alimentaires au cours de l'âge du Bronze. Les analyses isotopiques montrent un enrichissement important en ^{13}C et ^{15}N , ainsi qu'une hausse significative des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$, indiquant une consommation croissante de plantes en C₄. Parallèlement, le régime alimentaire se diversifie, intégrant le porc ainsi que la viande et les produits laitiers provenant de bovins, ovins et caprins (fig. 5).

La Suisse

En Suisse, les données isotopiques relatives à l'âge du Bronze concernent uniquement la Suisse occidentale. À ce jour, un seul site est documenté pour chaque étape : Collombey-Muraz, Barmaz (Valais) pour le Bronze ancien, Vufflens-la-Ville, En Sancy (Vaud) pour le Bronze moyen, et Tolochenaz (Vaud) pour le Bronze final (fig. 1). Bien que restreints, notamment en raison du petit nombre de nécropoles analysées pour l'âge du Bronze, ces résultats apportent une contribution précieuse à la compréhension de l'évolution des pratiques alimentaires en Suisse. Des études complémentaires seront toutefois nécessaires afin de confirmer et d'affiner les tendances actuellement observées.

Le Bronze ancien et moyen

Pour l'âge du Bronze ancien en Suisse, les données isotopiques disponibles proviennent de la nécropole de Collombey-Muraz, Barmaz (Valais), dans le Chablais

axe), and no clear social distinction is evident (Honegger, 1995). Five animals were also analysed (one pig, one caprine, and three cattle). The isotope results of the animals reveal strong homogeneity: all present a diet based on resources from a temperate environment dominated by C₃ plants (Fig. 6). Given that the nitrogen isotope values fall below the threshold indicative of manuring, these animals most likely consumed wild plants or crops grown on unfertilised soil. Indeed, the lack of ^{15}N enrichment in the animal tissues indicates that the plants at the base of their diet did not originate from soils enriched by organic inputs (Varalli *et al.*, 2021). In humans, carbon and nitrogen isotope values measured from bone collagen also indicate a diet dominated by C₃ terrestrial resources. The diet appears generally homogenous within the community, and the isotopic offset between mean human and animal values is consistent with a mixed terrestrial diet that included both plant and animal proteins (Varalli *et al.*, 2021). These values are consistent with the expected enrichment between two successive trophic levels. Bayesian modelling using FRUITS confirms this interpretation: cereals (wheat and barley) account for approximately 55% ($\pm 24\%$) of the diet, followed by animal products (26.8% $\pm$ 18.2%). Finally, the archaeological and anthropological data do not reveal any dietary difference based on age, sex or funerary practices. (Varalli *et al.*, 2021).

The cemetery of Vufflens-la-Ville, En Sancy (Vaud), located on a hill in the Venoge Valley (Lausanne), has yielded burials dated to the Middle Bronze Age (1550–1300 BCE), the Final Bronze Age and the Early Iron Age. It consists of a terrace built around a stone tumulus. For the Middle Bronze Age, 12 individuals were recovered from six pit graves, bordered and covered with stones (Mariéthoz *et al.*, 2005). These burials – individual, double or multiple – include individuals of different ages and sexes. The grave goods, which are relatively rich and principally associated with female individuals (necklaces adorned with amber beads, shells, and perforated teeth), suggest that this small necropolis was probably reserved for a local elite (Mariéthoz *et al.*, 2005). In the absence of faunal remains directly associated with this site, specimens from the neighbouring settlement of Rances - Champ Vully (one pig and one cattle specimen) were included in the analysis. The results of the animals show a diet based on resources from a temperate environment dominated by C₃ plants. Even in this context, animals consumed wild plants or unfertilised crops (Varalli *et al.*, 2021). The humans show values similar to those observed at Collombey-Muraz, Barmaz. The carbon and nitrogen isotope values present low variability, reflecting a homogenous diet based on terrestrial resources of plant and animal origin. The $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values indicate a mixed diet based on C₃ plants and contributions from animal products, including meat and/or dairy (Fig. 6). The offsets measured between humans and animals corresponds to that expected between two successive trophic levels. The low dispersion of values ($\Delta^{13}\text{C} = 0,6\text{‰}$; $\Delta^{15}\text{N} = 1,6\text{‰}$) confirms a certain dietary uniformity within the community.

valaisan, à une quinzaine de kilomètres de l'extrémité orientale du lac Léman. Le site regroupe les cimetières de Barmaz I et II ainsi que les niveaux d'occupation de la colline du Refuge. La nécropole de Barmaz I (2200-1550 av. n. è.), d'où proviennent les individus étudiés, comprend 15 sépultures individuelles en pleine terre. Les analyses anthropologiques y ont identifié 12 adultes des deux sexes, 2 enfants et un individu indéterminé. Le mobilier funéraire, présent dans seulement 7 tombes, demeure modeste (épingles, anneaux spiralés, perles, pendentif à double spirale, poignard, hache), sans qu'aucune distinction sociale nette ne puisse être observée (Honegger, 1995). Cinq animaux ont également été analysés (un porc, un caprin et trois bovins). Les résultats isotopiques des animaux révèlent une forte homogénéité : tous présentent un régime alimentaire basé sur des ressources issues d'un environnement tempéré dominé par les plantes de type C₃ (fig. 6). Les valeurs isotopiques de l'azote étant inférieures au seuil généralement associé aux pratiques de fertilisation, ces animaux ont très probablement consommé des plantes sauvages ou des cultures issues de sols non fertilisés. En effet, l'absence d'enrichissement en ¹⁵N dans les tissus animaux indique que les plantes à la base de leur alimentation ne provenaient pas de sols enrichis par des apports organiques (Varalli *et al.*, 2021). Chez les humains, les valeurs isotopiques du carbone et de l'azote mesurés sur le collagène osseux indiquent eux aussi une alimentation dominée par les ressources terrestres de type C₃. Le régime apparaît globalement homogène au sein de la communauté, et l'écart entre les valeurs isotopiques moyennes des humains et celles des animaux reflète une alimentation terrestre mixte, intégrant à la fois des protéines d'origine végétale et animale (Varalli *et al.*, 2021). Ces valeurs correspondent d'ailleurs aux enrichissements attendus entre deux niveaux trophiques successifs. L'application du modèle bayésien FRUITS confirme cette interprétation : les céréales (blé et orge) représentent environ 55 % (±24 %) de l'alimentation, suivies par les produits animaux (26.8%±18,2%). Enfin, les données archéologiques et anthropologiques ne mettent en évidence aucune différenciation en fonction de l'âge, du sexe ou des pratiques funéraires (Varalli *et al.*, 2021).

Le cimetière de Vufflens-la-Ville, En Sancy (Vaud), implanté sur une colline de la vallée de la Venoge, (Lausanne), a livré des sépultures datées du Bronze moyen (1550-1300 av. n. è.), du Bronze final et du premier âge du Fer. Il s'agit d'une terrasse aménagée autour d'un tumulus de pierres. Pour le Bronze moyen, 12 individus ont été mis au jour dans six tombes en fosse, délimitées et couvertes de pierres (Mariéthoz *et al.*, 2005). Ces sépultures, individuelles, doubles ou multiples, concernent des individus d'âges et de sexes variés. Le mobilier, relativement riche et principalement associé aux tombes féminines (colliers ornés de perles d'ambre, de coquillages et de dents perforées), suggère que cette petite nécropole était probablement réservée à une élite locale (Mariéthoz *et al.*, 2005). En l'absence de restes fauniques directement associés à ce site, des spécimens issus de l'habitat voisin de Rances-Champ Vully, ont été intégrés à l'analyse (un porc et un

The application of the FRUITS Bayesian model further refines these results: C₃-type cereals, notably wheat and barley, appear to constitute the base of the diet (57.6% ± 24.9%), followed by animal products (25.6% ± 17.6%). The offset between human and plant values for nitrogen ($\Delta^{15}\text{N}_{\text{humans-plants}} = 5.9\text{‰}$) suggests an important contribution of animal proteins. This ¹⁵N enrichment, linked to the consumption of animal-derived resources, may mask a potential contribution of legumes. Indeed, legumes present relatively low nitrogen isotope values due to their ability to fix atmospheric nitrogen. Their isotope signal is therefore poorly distinct in a diet dominated by animal proteins, which raise the $\delta^{15}\text{N}$ values of human tissues and make their consumption difficult to detect. Compared to Barmaz, cereal consumption appears slightly higher at Vufflens, while the contribution of animal products is somewhat lower. Neither C₄ plants nor freshwater fish seem to have played a significant role in the diet (Varalli *et al.*, 2021). Finally, as at Barmaz, no dietary differences are observed based on biological or funerary criteria.

Final Bronze Age

The site of Tolochenaz (Vaud), dated to the Final Bronze Age (1050–800 BCE), is located on the northern shore of Lake Geneva, between the communes of Tolochenaz and Morges. The necropolis spans two terraces: Le Boiron and La Caroline. It is a bi-ritual cemetery where inhumations – often in monoxylous wooden coffins – and cremations coexist. More than 40 burials were uncovered here, principally adults, with grave goods composed of ornaments (pins, bracelets, rings, beads), razors and ceramic vessels (Beeching, 1977). For the dietary study, 15 individuals were analysed (10 from La Caroline and 5 from Le Boiron). Due to the absence of fauna on the site, 9 specimens from a neighbouring settlement, Chens-sur-Léman (Tougues), were included: 3 pigs, 3 caprines, 1 cervid and 2 cattle. In addition, 4 freshwater aquatic faunal remains attributed to pike (*Esox lucius*) from the site of Chindrieux on Lake Bourget were also analysed (Fig. 1).

As with the previous sites, the Final Bronze Age fauna show diet based on resources from a temperate environment dominated by C₃ plants. Human $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values from the Tolochenaz sites, however, differ from those documented in earlier contexts. The greater dispersion of isotopic values reflects a more heterogeneous diet, probably linked to the introduction of C₄ plants (Fig. 6). The enrichment in ¹³C observed in humans compared to the faunal baseline reflects the consumption of C₄ resources, notably common millet (*Panicum miliaceum*) and foxtail millet (*Setaria italica*). The $\Delta^{13}\text{C}_{\text{human-animal}}$ of approximately 3‰ confirms a mixed C₃–C₄ diet. Indeed, because this isotopic difference exceeds the trophic enrichment expected between two trophic levels, it indicates an additional source enriched in ¹³C. This is consistent with the consumption of C₄ resources alongside C₃ resources. Regarding nitrogen, the $\Delta^{15}\text{N}_{\text{human-animal}}$ of 2.5‰ suggests a relatively limited intake of animal proteins, pointing to

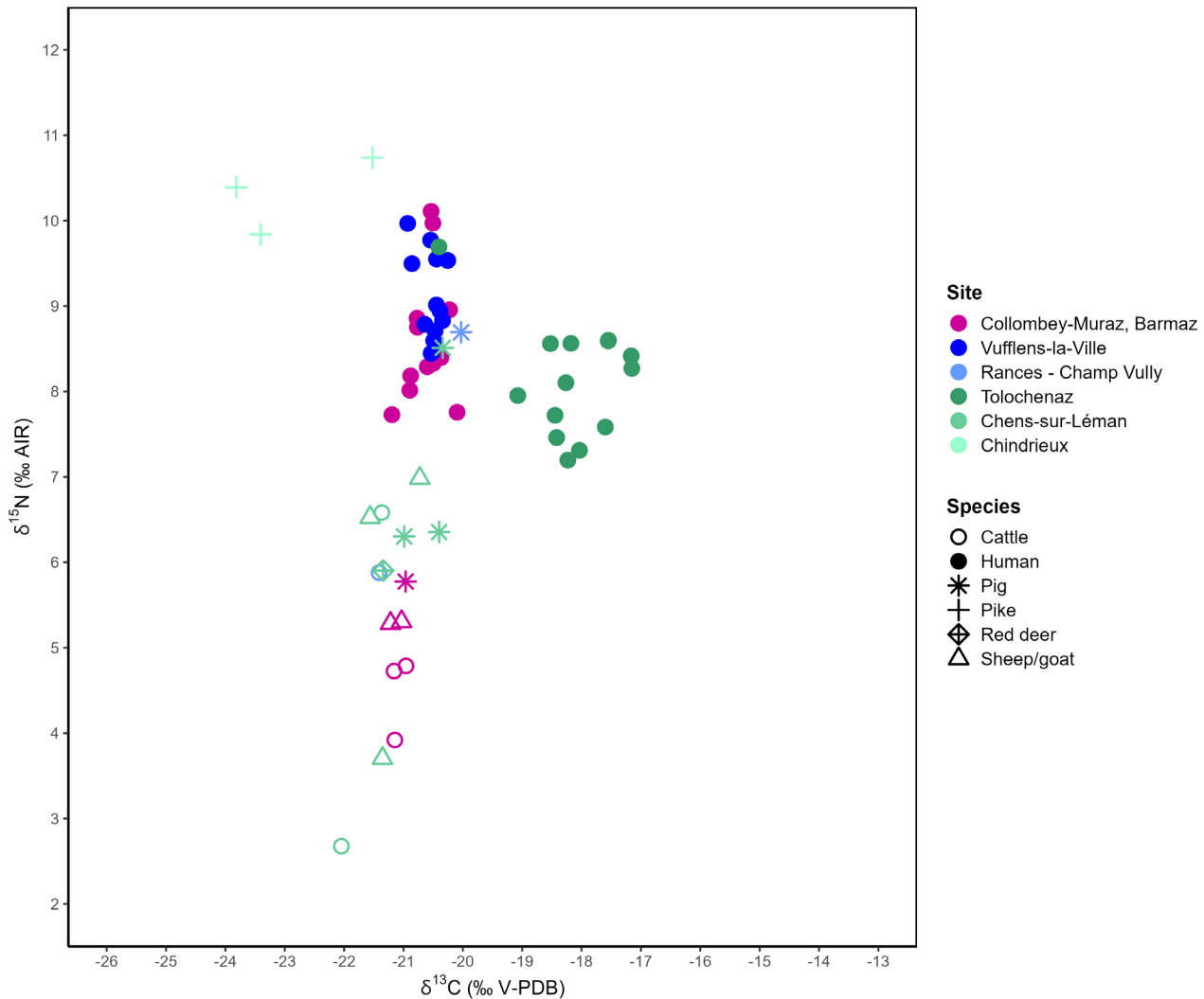


Fig. 6 – Les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ et $\delta^{13}\text{C}$ des humains et des animaux pour les sites suisses de l'âge du Bronze.

Fig. 6 – $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values of humans and animals from Swiss Bronze Age sites.

bovin). Les résultats isotopiques des animaux présentent un régime alimentaire basé sur des ressources issues d'un environnement tempéré dominé par les plantes de type C_3 . Même dans ce contexte, l'absence de marqueurs de fumure suggère que ces animaux consommaient des végétaux sauvages ou des cultures non fertilisées (Varalli *et al.*, 2021). Les résultats isotopiques des humains montrent des valeurs proches de celles observées à Collombey-Muraz, Barmaz. Les valeurs isotopiques du carbone et de l'azote présentent une faible variabilité, traduisant une alimentation homogène, fondée sur des ressources terrestres d'origine végétale et animale. Les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ indiquent un régime mixte basé sur les plantes C_3 et des apports carnés et/ou laitiers (fig. 6). L'écart mesuré entre humains et animaux correspond à celui attendu entre deux niveaux trophiques successifs. La faible dispersion des valeurs ($\Delta^{13}\text{C} = 0,6\text{‰}$; $\Delta^{15}\text{N} = 1,6\text{‰}$) confirme une certaine uniformité alimentaire au sein de la communauté.

L'application du modèle bayésien FRUITS permet d'affiner ces résultats : les céréales de type C_3 , notamment le blé et l'orge, semblent constituer la base du régime ($57,6\% \pm 24,9\%$), suivies par les produits animaux

a restricted contribution of meat or dairy products. The FRUITS model corroborates these results. Although C_3 cereals remain the principal dietary component ($56.1\% \pm 23.2\%$), C_4 plants represent $21.6\% \pm 10.6\%$ of the diet, alongside a lower contribution of animal products ($18.8\% \pm 14.7\%$) and a minimal contribution from freshwater fish ($3.3\% \pm 2.9\%$) (Varalli *et al.*, 2021). No notable dietary variation is apparent according to the grave goods associated with the individuals. However, individual LeB3 stands out from the general pattern: the $\delta^{13}\text{C}$ value of -20.4‰ is typical of a diet based on C_3 resources, while the $\delta^{15}\text{N}$ value is the highest recorded (9.7‰), suggesting a greater intake of animal proteins. The poor preservation of the bones and the absence of grave goods make it impossible to explain this dietary difference. However, its $\delta^{34}\text{S}$ value (2.9‰) is consistent with those of the rest of Tolochenaz, indicating that a non-local origin is unlikely.

Iberian Peninsula

In the Iberian Peninsula, few studies have exclusively focussed on the Bronze Age, and most concern

(25,6%±17,6%). L'écart important entre les valeurs humaines et végétales pour l'azote ($\Delta^{15}\text{N}_{\text{humains-plantes}} = 5,9\text{‰}$) suggère un apport significatif de protéines animales. Cet enrichissement en ^{15}N , lié à la consommation de ressources d'origine animale, peut masquer une éventuelle consommation de légumineuses. En effet, les légumineuses présentent des valeurs isotopiques en azote relativement faibles en raison de leur capacité à fixer l'azote atmosphérique. Ainsi, leur signal isotopique est peu distinct dans un régime alimentaire dominé par des apports en protéines animales, qui élèvent globalement les valeurs en $\delta^{15}\text{N}$ des tissus humains et rendent difficile la détection de leur contribution. En comparaison avec Barmaz, la contribution des céréales paraît légèrement plus importante à Vufflens, tandis que celle des produits animaux est un peu plus faible. Ni les plantes C_4 , ni les poissons d'eau douce ne semblent avoir joué un rôle notable dans l'alimentation (Varalli *et al.*, 2021). Enfin, comme à Barmaz, aucune variation de régime alimentaire n'a été observée en fonction des critères biologiques ou funéraires.

Le Bronze final

Le site de Tolochenaz (Vaud), daté du Bronze final (1050-800 av. n. è.), est situé au nord du lac Léman, entre les communes de Tolochenaz et de Morges. La nécropole se développe sur deux terrasses : Le Boiron et La Caroline. Il s'agit d'un cimetière bi-rituel, où coexistent inhumations – souvent en cercueils monoxyles – et crémations. Plus de quarante sépultures y ont été mises au jour, principalement des adultes, avec un mobilier funéraire composé de parures (épingles, bracelets, bagues, perles), de rasoirs et de vases en céramique (Beeching, 1977). Pour l'étude sur l'alimentation ont été analysés 15 individus (10 de La Caroline et cinq du Boiron). En raison de l'absence de faune sur le site, du matériel provenant d'un habitat voisin, Chens-sur-Léman (Tougues), a été inclus pour un total de neuf spécimens : trois porcs, trois caprinés, un cervidé et deux bovins. Par ailleurs, quatre restes de faune aquatique dulcicole, attribués au brochet (*Esox lucius*) et provenant du site de Chindrieux, lac du Bourget, ont également été analysés (fig. 1).

La faune datée du Bronze final, comme pour les sites précédents, présente des valeurs isotopiques indiquant une alimentation basée sur des ressources d'un environnement tempéré dominé par les plantes de type C_3 . Pour les humains, les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ et de $\delta^{15}\text{N}$ issues des sites de Tolochenaz se différencient par rapport aux contextes antérieurs. La dispersion des valeurs isotopiques est plus importante, traduisant une diversification du régime alimentaire, probablement liée à l'introduction de végétaux de types C_4 (fig. 6). L'enrichissement en ^{13}C chez les humains par rapport à la faune reflète la consommation de ressources C_4 , notamment le millet (*Panicum miliaceum*) et le petit millet (*Setaria italica*). Le $\Delta^{13}\text{C}_{\text{humains-animaux}}$ d'environ 3‰ confirme un régime mixte $\text{C}_3\text{-C}_4$: cet écart isotopique supérieur à l'enrichissement trophique attendu indique donc un apport supplémentaire en ^{13}C . Cela est cohérent avec la consommation de ressources

well-defined cultural entities, such as the El Argar culture, which spread across the south-east of the peninsula during the Early and Middle Bronze Age (c. 2200–1550 BCE). The literature review conducted for this overview highlighted the difficulty in clearly distinguishing the different phases of the Bronze Age, not only between sites, but sometimes even within the same site. This difficulty stems largely from the lack of precise chronological attribution in several studies. Consequently, sites spanning broad chronological ranges could not be included in the present review, such as Tossal del Mortórum (Salazar-García, 2017), Majaladares, Moncín and El Estrechuelo (Viñas-Caron *et al.*, 2022), or El Sotillo and Alto de la Huesera (Fernández-Crespo *et al.*, 2021), where individuals are dated to the Chalcolithic–Early Bronze Age or, more broadly, to the Bronze Age. This inability to assign individuals to a specific phase constitutes a significant limitation, as it prevents the assessment of potential changes in dietary practices through time – a question that is central to the approach adopted here. Finally, the Balearic Islands were excluded from this review, despite the existence of several isotopic investigations (e.g. Strydomck *et al.*, 2005; Sotiriadou *et al.*, 2022), as dietary practices on these islands were likely shaped by dynamics specific to small insular environments and are therefore not directly comparable to those observed on the mainland.

Early–Middle Bronze Age

Eighteen necropolises from the Iberian Peninsula, dating to the Early and Middle Bronze Age (including the transitional phase), have been the subject of isotopic analyses. They are well represented in both the northern and southern regions of the peninsula, whereas a clear deficiency is observed in the central zone (Fig. 1). This entire corpus include 273 humans and 178 animals. In the north of the peninsula, the sites studied are Can Roqueta and Minferri (Grandal-d'Anglade *et al.*, 2019), La Garma (Arias Cabal, 2005), as well as Cova do Santo (López-Costas *et al.*, 2015). In the central zone, the data available derive from Los Tolmos (Esparza *et al.*, 2017), Coveta del Frare (García Borja *et al.*, 2013), Cova de la Pastora (McClure *et al.*, 2011) and Castillejo del Bonete (Salazar García *et al.*, 2013). In the south, the analysed sites include La Bastida and Gatas (Knipper *et al.*, 2020), El Barranquete and Panoria (Díaz-Zorita Bonilla *et al.*, 2019), Cerro del Virgen (Molina *et al.*, 2016), Cuesta del Negro (Molina-González *et al.*, 2019), Ubeda, Baeza and La Navilla (Molina-González *et al.*, 2019) as well as Bolors (Lillios *et al.*, 2010). Some sites are characterised by a large number of individuals (e.g. Can Roqueta, Minferri, La Bastida, Gatas), whereas others are represented by only a single individual (e.g. La Garma, Bolors). While in some cases both human and faunal remains were analysed (e.g. Can Roqueta, Minferri, La Bastida, Gatas), other sites have yielded only human data without a corresponding faunal study (e.g. Coveta del Frare, Ubeda, Baeza, La Navilla, Cuesta del Negro). This lack of contemporaneous faunal data limits the establishment

en C₄, en complément des ressources en C₃. Concernant l'azote, le $\Delta^{15}\text{N}_{\text{humains-animaux}}$ de 2,5‰ indique une consommation relativement limitée de protéines animales, ce qui indique un apport restreint en viande ou produits laitiers. Le modèle FRUITS corrobore ces résultats ; bien que la principale source alimentaire soit constituée de céréales C₃ (56,1%±23,2%), les plantes C₄ représentent 21,6%±10,6% de l'alimentation, en complément d'un apport moindre en produits animaux (18,8%±14,7%) et d'une contribution minimale des poissons d'eau douce (3,3%±2,9%) (Varalli *et al.*, 2021). Aucune variation notable n'apparaît en fonction du mobilier funéraire associé aux individus. Cependant, l'individu LeB3 se distingue du schéma général : sa valeur de $\delta^{13}\text{C}$ de -20,4‰ est typique d'un régime basé sur des ressources C₃, tandis que son $\delta^{15}\text{N}$, le plus élevé (9,7‰), suggère un apport plus important en protéines animales. La mauvaise conservation de ses os et l'absence de mobilier ne permettent pas d'expliquer cette différence alimentaire. Toutefois, sa valeur de $\delta^{34}\text{S}$ (2,9‰), cohérente avec celle du reste de Tolochenaz, indique qu'une origine non locale est peu probable.

La péninsule Ibérique

Dans la péninsule Ibérique, peu d'études sont exclusivement focalisées sur l'âge du Bronze et la plupart portent sur des cultures bien définies, comme celle d'El Argar, diffusée dans le sud-est de la péninsule durant le Bronze ancien et moyen (ca. 2200-1550 av. n. è.). La recherche bibliographique menée pour ce bilan a mis en évidence la difficulté à distinguer clairement les différentes phases de l'âge du Bronze, non seulement entre les sites, mais parfois même au sein d'un même site. Cette difficulté tient en grande partie à l'absence de distinctions chronologiques précises dans plusieurs travaux. Ainsi, dans les études couvrant de larges horizons chronologiques, certains sites n'ont pas pu être retenus, tels que Tossal del Mortórum (Salazar-García, 2017), Majaladares, Moncín et El Estrechuelo (Viñas-Caron *et al.*, 2022), ou El Sotillo et Alto de la Huesera (Fernández-Crespo *et al.*, 2021), dans la mesure où les individus y sont attribués au Chalcolithique-Bronze ancien ou, plus largement, à l'âge du Bronze. Cette impossibilité d'assigner les individus à une phase spécifique constitue une limite importante, car elle empêche d'évaluer les évolutions possibles des pratiques alimentaires au cours de la période, question pourtant centrale pour l'approche adoptée ici. Enfin, les îles Baléares n'ont pas été incluses, bien que plusieurs travaux y aient été menés (p. ex. Strydomck *et al.*, 2005 ; Sotiariadou *et al.*, 2022), car il est probable que des dynamiques spécifiques aux territoires insulaires de petite taille aient fortement conditionné les pratiques alimentaires.

Le Bronze ancien-moyen

Dix-huit nécropoles de la péninsule Ibérique, datées du Bronze ancien et moyen (y compris la phase de transition), ont fait l'objet d'analyses isotopiques. Elles sont

of robust local isotopic baselines against which human dietary patterns can be reliably assessed.

The isotopic data indicate essentially terrestrial diets, dominated by C₃ plants, in line with local resources. The diet relied principally on wheat, barley and legumes, supplemented by animal products from animal husbandry (cattle, caprines and pigs). The individuals show globally homogenous diets, with some variations in animal protein consumption depending on the site (e.g. Cuesta del Negro *versus* Úbeda, Baeza and Navilla; Molina-González *et al.*, 2019). However, when significant differences in $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values occur between sites – including within the same region, as observed between La Bastida and Gatas (Fig. 7) – the isotopic data from cereals and domestic animals indicate that these variations primarily reflect differences in agricultural practices (manuring, animal feeding), rather than from differences in human diets (Knipper *et al.*, 2020).

Despite generally homogenous access to food resources – unlike patterns observed in other regions such as Switzerland or France – some contexts suggest an association between social status, as inferred from the archaeological record, and dietary practices. This is the case for the sites of Cuesta del Negro and La Bastida (Molina-González *et al.*, 2019; Knipper *et al.*, 2020). At La Bastida, high status individuals have high $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values (Knipper *et al.*, 2020), suggesting a greater consumption of animal proteins and preferential access to food resources of higher social value.

The homogeneity of the data limits the identification of major dietary shifts; however, chronological variations can be detected. At sites with well-defined occupational phases, such as Cuesta del Negro, the $\delta^{15}\text{N}$ values increase significantly throughout the El Argar phases (1: 1950–1750; 2: 1750–1650; 3: 1650–1500 cal. BC), suggesting a rise in meat consumption linked to the growing importance of livestock husbandry, particularly cattle, horses, possibly influenced by social status (Molina González and Cámara Serrano, 2004) (Fig. 7). According to Molina-González *et al.* (2019), the average $\delta^{13}\text{C}$ values remain broadly stable through time, while showing a slight decrease over time, possibly linked to an increase in humidity. In the absence of evidence for C₄ plant consumption or aquatic contribution, these variations are interpreted as reflecting environmental changes. However, because contemporaneous faunal baselines are not available for each phase, these interpretations must be considered with caution. Another example of diachronic changes is provided by La Bastida, where the individuals presenting the highest $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values belong to the earliest phase (c. 2000–1750 cal BCE), whereas the two individuals with the lowest isotopic values are attributed to the more recent phase (c. 1750–1550 cal BCE). The decrease in $\delta^{15}\text{N}$ values over time may reflect either a reduction in the consumption of animal proteins, or a decline in the baseline values of food resources (cereals and animal products). In the latter case, it would suggest a process of agricultural extensification, characterised by reduced manuring practices, less intensive livestock

bien représentées dans le nord et le sud de la péninsule, tandis qu'une nette carence est observée dans la zone centrale (fig. 1). L'ensemble de ce corpus correspond à 273 individus humains et 178 animaux. Dans le nord de la péninsule, les sites étudiés sont Can Roqueta et Minferri (Grandal-d'Anglade *et al.*, 2019), La Garma (Arias Cabal, 2005), ainsi que Cova do Santo (López-Costas *et al.*, 2015). Dans la zone centrale, on retrouve Los Tolmos (Esparza *et al.*, 2017), Coveta del Frare (García Borja *et al.*, 2013), Cova de la Pastora (McClure *et al.*, 2011) et Castillejo del Bonete (Salazar García *et al.*, 2013). Dans le sud, les sites analysés comprennent La Bastida et Gatas (Knipper *et al.*, 2020), El Barranquete et Panoria (Díaz-Zorita Bonilla *et al.*, 2019), Cerro del Virgen (Molina *et al.*, 2016), Cuesta del Negro (Molina-González *et al.*, 2019), Ubeda, Baeza, et La Navilla (Molina-González *et al.*, 2019) ainsi que Bolors (Lillios *et al.*, 2010). Certains sites se distinguent par un nombre élevé d'individus analysés (p. ex. Can Roqueta, Minferri, La Bastida, Gatas), tandis que d'autres ne sont représentés que par un seul individu (p. ex. La Garma, Bolors). Si dans certains cas les analyses ont porté conjointement sur les restes humains et fauniques (p. ex. Can Roqueta, Minferri, La Bastida, Gatas), d'autres sites, en revanche, n'ont livré que des données humaines sans étude parallèle de la faune (p. ex. Coveta del Frare, Ubeda, Baeza, La Navilla, Cuesta del Negro), ce qui empêche l'établissement d'une base de référence solide pour comparer les données humaines.

Les données isotopiques indiquent des régimes essentiellement terrestres, dominés par des plantes en C₃, en cohérence avec les ressources locales. L'alimentation repose principalement sur le blé, l'orge et les légumineuses, complétés par des produits animaux issus de l'élevage (bovins, ovins, caprins et porcins). Les individus présentent des régimes globalement homogènes, avec des variations ponctuelles de la consommation de protéines animales selon les sites (p. ex. Cuesta del Negro *versus* Ubeda, Baeza et Navilla ; Molina-González *et al.*, 2019). Toutefois, lorsque les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ et de $\delta^{15}\text{N}$ diffèrent significativement entre sites – y compris au sein d'une même région, comme entre La Bastida et Gatas (fig. 7) – les données isotopiques des céréales et des animaux domestiques indiquent que ces écarts relèvent principalement de différences dans les pratiques agricoles (fumure, alimentation animale), plutôt que de variations des régimes humains (Knipper *et al.*, 2020).

Malgré un accès globalement homogène aux ressources alimentaires – contrairement à d'autres régions comme la Suisse ou la France – certains contextes suggèrent une association entre statut social – relevé par les vestiges archéologiques, et pratiques alimentaires. C'est notamment le cas des sites de Cuesta del Negro et de La Bastida (Molina-González *et al.*, 2019 ; Knipper *et al.*, 2020). À La Bastida, les individus de statut élevé présentent des valeurs élevées de $\delta^{13}\text{C}$ et de $\delta^{15}\text{N}$ (Knipper *et al.*, 2020), suggérant une consommation accrue de protéines animales et l'accès à des ressources alimentaires de plus grande valeur sociale.

management, and a reduced contribution of cultivated crops and their by-products to animal feeding strategies (Knipper *et al.*, 2020).

It is noteworthy that several sites, sometimes close to the coast, such as Cerro de la Virgen, Baeza or La Bastida, as well as inland sites, such as La Motilla del Azuer in Ciudad Real (note 1) (Nájera Colino *et al.*, 2010), present a slight enrichment in ^{13}C (figs 7 and 8). In some cases, these higher $\delta^{13}\text{C}$ values remain unexplained, as at La Motilla (Nájera Colino *et al.*, 2010), or have been attributed to the consumption of marine resources, as at Castillejo del Bonete (Salazar-García *et al.*, 2013), despite the site's significant distance from the sea (> 200 km). López-Costas *et al.* (2015) proposed attributing this enrichment to a possible consumption of C₄ plants. However, in contexts where C₄ plants consumption is documented, $\delta^{13}\text{C}$ values are normally higher. Given the late spread of millet into the Iberian Peninsula (Alonso and Pérez-Jordà, 2023), the increase in $\delta^{13}\text{C}$ values is more likely explained by two factors. First, an increase in aridity, as suggested by palaeoenvironmental data (López-Sáez *et al.*, 2014; Ramos-Román *et al.*, 2018) and supported by other regional studies (Fernández-Crespo *et al.*, 2016; Molina-González *et al.*, 2019). Second, a contribution from wild C₄ plants (e.g. Cyperaceae), consumed either directly or indirectly via animal products. These plants, present in the east of the peninsula and incorporated into livestock diet since the Neolithic (Navarrete *et al.*, 2025), could explain the increase in $\delta^{13}\text{C}$ values in humans.

Final Bronze Age

Isotopic studies dedicated to the Final Bronze Age remain limited. Based on absolute dating, only three sites are currently documented: Esnaurreta and Ondarre, in the north of the peninsula (one caprine and two human individuals, respectively) (Fernández-Crespo *et al.*, 2016), and El Barranquete in the south-east (Díaz-Zorita Bonilla *et al.*, 2019). At this last site, although most burials are attributed to the Middle Bronze Age, two individuals (Tb 10.2 and Tb 10.3) are more recent (Díaz-Zorita Bonilla *et al.*, 2019) (Fig. 8). At Ondarre, isotopic results indicate a mixed terrestrial diet based on C₃ plants and domestic animal products, with no evidence for a significant contribution of marine, lacustrine or riverine resources, nor of C₄ plants (Fernández-Crespo *et al.*, 2016). The high protein intake observed may be related either to the social status of the individuals interred, as the cist burials appear to have been reserved for persons of higher rank (García Sanjuán *et al.*, 1999), or to a subsistence model largely based on livestock husbandry and the consumption of animal products. Nevertheless, a more robust assessment of these hypotheses would require a better understanding of local settlements patterns, environmental conditions (archaeological flora and fauna), and additional isotopic analyses from other individuals buried in cists within the region. The two individuals from El Barranquete show isotopic values similar to those of the rest of the group

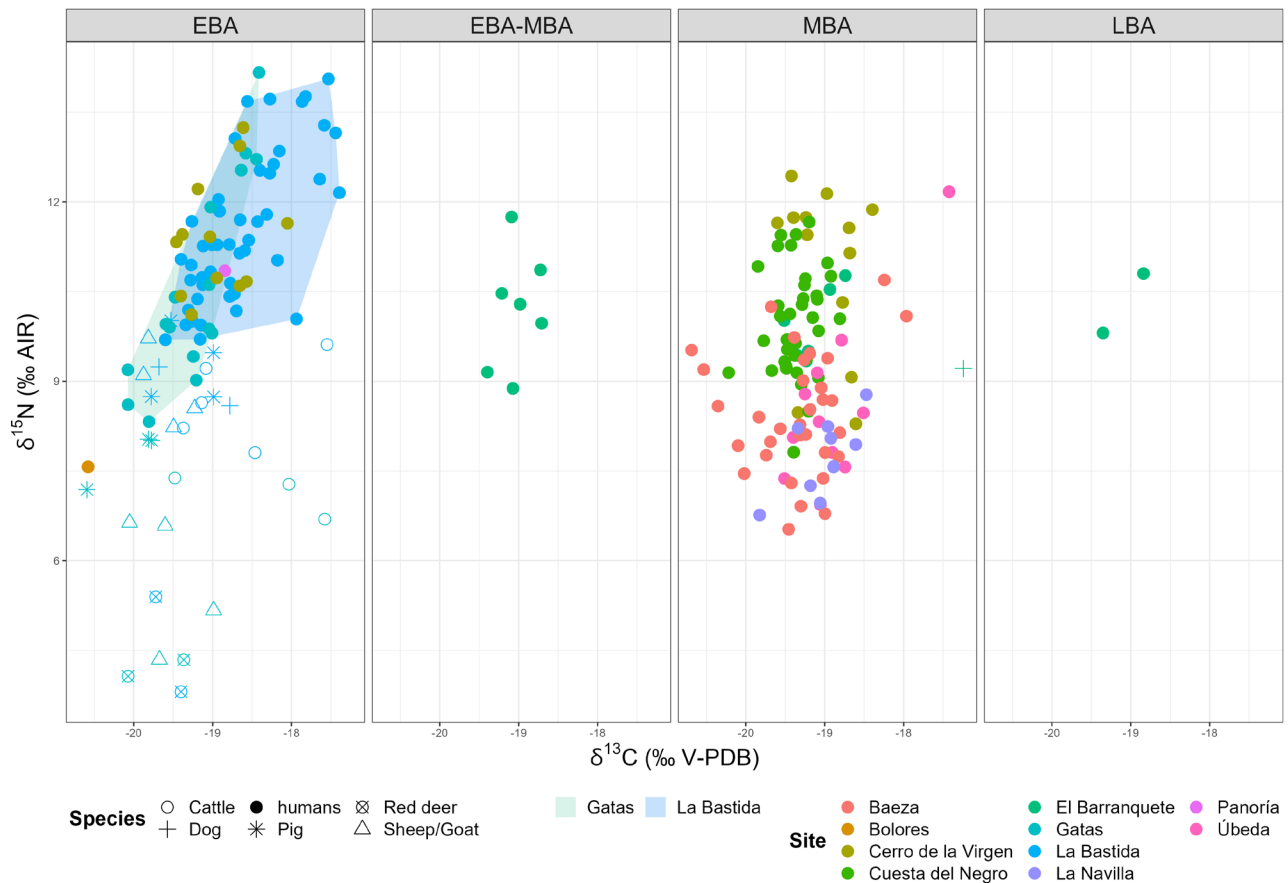


Fig. 7 – Valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ et $\delta^{13}\text{C}$ des humains (individus > 6 ans) et des animaux pour les sites de la Péninsule Ibérique méridionale de l'âge du Bronze.

Fig. 7 – $\delta^{15}\text{N}$ et $\delta^{13}\text{C}$ values of humans (individuals > 6 years old) and animals from Bronze Age sites in the southern Iberian Peninsula.

L'homogénéité des données limite l'identification de changements marqués, mais des variations chronologiques restent perceptibles. Sur certains sites à séquence phasée, comme Cuesta del Negro, les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ augmentent significativement entre les phases d'El Argar (1 : 1950-1750 ; 2 : 1750-1650 ; 3 : 1650-1500 cal. av. n. è.), suggérant une hausse de la consommation de viande liée au développement de l'élevage (bovins, chevaux), possiblement modulée par le statut social (Molina González et Cámara Serrano, 2004) (fig. 7). D'après Molina-González *et al.* (2019), les valeurs moyennes de $\delta^{13}\text{C}$ restent globalement homogènes, tout en montrant une légère diminution au cours du temps, possiblement liée à une augmentation de l'humidité. En l'absence de signal C_4 ou de contribution aquatique, ces variations sont interprétées comme d'origine principalement environnementale. Cependant, en raison de l'absence d'animaux contemporains pour chaque phase, ces interprétations doivent être considérées avec prudence. Un autre exemple qui atteste des changements au cours du temps est le cas de La Bastida, où les individus présentant les valeurs les plus élevées de $\delta^{15}\text{N}$ et de $\delta^{13}\text{C}$ appartiennent à la phase la plus ancienne (c. 2000-1750 cal. av. n. è.), tandis que les deux individus ayant les valeurs isotopiques les plus basses sont attribués à la phase plus récente (c. 1750-1550 cal. av. n. è.). La baisse des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$

dated to the Early–Middle Bronze Age, indicating a terrestrial diet also dominated by C_3 plants. These results support their attribution to the same socio-economic and environmental context.

Given the limited number of individuals, it is difficult to establish a robust synthesis for this period. Furthermore, the funerary practices and contexts of these individuals, radiocarbon-dated to the Final Bronze Age, show a certain continuity with earlier cultural traditions. Consequently, the relative homogeneity observed in dietary practices is not unexpected. Even the results obtained for Menorca and Mallorca, dated to the end of the Bronze Age and the beginning of the Iron Age (c. 1600–850/800 BCE), such as at Cova des Pas (Sotiriadou *et al.*, 2022) or Ses Roques Llises (Strydomck *et al.*, 2005), although not included in the present synthesis, suggest a human diet based primarily on C_3 plants, complemented by a significant intake of animal proteins. These data, therefore, indicate that, based on the limited evidence, no major dietary changes is observable, in contrast to patterns documented in other European regions. Further research is necessary to address these gaps and refine our understanding of dietary practices during the Final Bronze Age.

au cours du temps peut traduire soit une diminution de la consommation de protéines animales, soit une réduction des valeurs de base des ressources alimentaires (céréales et produits animaux). Dans ce second cas, elle suggère une extensification des systèmes agricoles, marquée par un moindre recours à la fumure et un contrôle plus lâche des pratiques d'élevage, ainsi qu'une moindre contribution des cultures et de leurs sous-produits à l'alimentation animale (Knipper *et al.*, 2020).

Il est intéressant de noter que plusieurs sites, parfois proches de la côte, comme Cerro de la Virgen, Baeza ou La Bastida, ainsi qu'à l'intérieur de la péninsule, comme La Motilla del Azuer à Ciudad Real¹ (Nájera Colino *et al.*, 2010), présentent un léger enrichissement en ^{13}C (fig. 7 et 8). Dans certains cas, ces valeurs plus élevées de $\delta^{13}\text{C}$ n'ont pas été expliquées, comme à La Motilla (Nájera Colino *et al.*, 2010), ou ont été attribuées à une consommation de ressources marines, comme au Castillejo del Bonete (Salazar-García *et al.*, 2013), malgré l'éloignement important du site par rapport à la mer (> 200 km). López-Costas *et al.* (2015) ont proposé d'attribuer cet enrichissement à une possible consommation de plantes en C_4 . Toutefois, dans les communautés où la consommation de plantes C_4 est suggérée, les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ sont normalement plus élevées. Étant donné la diffusion tardive du millet dans la péninsule Ibérique (Alonso et Pérez-Jordà, 2023) l'augmentation des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ s'explique plus vraisemblablement par deux facteurs. D'une part, une augmentation de l'aridité, suggérée par les données paléoenvironnementales (López-Sáez *et al.*, 2014 ; Ramos-Román *et al.*, 2018) et confirmée par d'autres études régionales (Fernández-Crespo *et al.*, 2016 ; Molina-González *et al.*, 2019). D'autre part, une contribution de plantes C_4 sauvages (par ex. *Cyperaceae*), consommées directement ou indirectement via les produits animaux. Ces plantes, présentes dans l'est de la péninsule et intégrées à l'alimentation du bétail dès le Néolithique (Navarrete *et al.*, 2025), pourraient ainsi expliquer l'augmentation des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ chez les humains.

Le Bronze final

Les études isotopiques consacrées à la fin de l'âge du Bronze restent très limitées. D'après les datations absolues, seules trois sites sont actuellement documentés : Esnaurreta et Ondarre, dans le nord de la péninsule (un capriné et deux individus humains respectivement) (Fernández-Crespo *et al.*, 2016), ainsi qu'El Barranquete dans le sud-est (Díaz-Zorita Bonilla *et al.*, 2019). Sur ce dernier site, bien que la majorité des inhumations soit attribuée au Bronze moyen, deux individus (Tb 10.2 et Tb 10.3) paraissent plus récents (Díaz-Zorita Bonilla *et al.*, 2019) (fig. 8). En ce qui concerne Ondarre, les résultats isotopiques indiquent un régime alimentaire mixte d'origine terrestre, fondé sur la consommation de plantes en C_3 et de produits issus des animaux domestiques, sans indication d'une contribution significative des ressources marines, lacustres ou fluviales, ni des plantes en C_4

BETWEEN CONTINUITY AND CHANGE: AN ISOTOPIC PERSPECTIVE ON DIETARY PRACTICES DURING THE BRONZE AGE IN WESTERN EUROPE

The comparative analysis of the available isotopic data from Italy, France, Switzerland and Spain provides valuable insights into the evolution of dietary practices during the Bronze Age in Western Europe. It offers both a broader perspective, enabling the identification of general trends at a European scale, and a more detailed approach, allowing regional dietary dynamics to be explored. Nevertheless, it should be emphasised that these results may reflect both a convergence of practices and an effect of analytical resolution, which may obscure more subtle variations associated to the consumption of specific resources, particularly aquatic or seasonal foods. During the Early Bronze Age, the isotopic data highlight a relative homogeneity of the resources consumed, suggesting a continuity of dietary practices compared to previous periods (e.g. Farese *et al.*, 2024 ; Varalli *et al.*, 2023 ; Díaz-Zorita Bonilla *et al.*, 2019). Diets rely predominantly on terrestrial resources from temperate environments, with C_3 plants (wheat, barley, legumes) serving as staple crops. When multiple species, even within the same trophic levels, are analysed, more refined interpretations can be proposed, such as the predominance of barley over wheat consumption in some Iberian contexts (Knipper *et al.*, 2020). Plant consumption is complemented by meat and dairy products from cattle, caprines and pigs, although slight regional variations are evident in both the relative contribution of animal proteins and the preferential exploitation of certain species (Varalli *et al.*, 2022 ; Díaz-Zorita Bonilla *et al.*, 2019). The consumption of aquatic resources appears globally rare and, where attested, limited to a few sites (Varalli *et al.*, 2016).

Clear dietary changes emerge during the later phases of the Bronze Age across most of the regions considered, with a few regional exceptions. These changes are mainly linked to the introduction of new resources, resulting in increasing dietary variability both between and within sites. Regional and chronological differences become more pronounced, in connection with a gradual increase in $\delta^{13}\text{C}$ values, attributed to the growing consumption of C_4 plants between the Middle and the Final Bronze Age. Concurrently, the contribution of animal proteins also evolves, both quantitatively and qualitatively, notably with an increasing contribution of pork to the diet (Varalli *et al.*, 2023).

This pattern is clearly visible in Italy, where isotopic data are fairly consistent during the Early Bronze Age, indicating a diet based on C_3 cereals and animal products. From the Middle Bronze Age onwards, drastic changes are observed. At the Early-Middle Bronze age transition, the introduction of millet significantly alters the isotopic signature of individuals. To date, millet consumption does not appear to be associated with a specific sex, age group or social category, contrary to what has been observed in

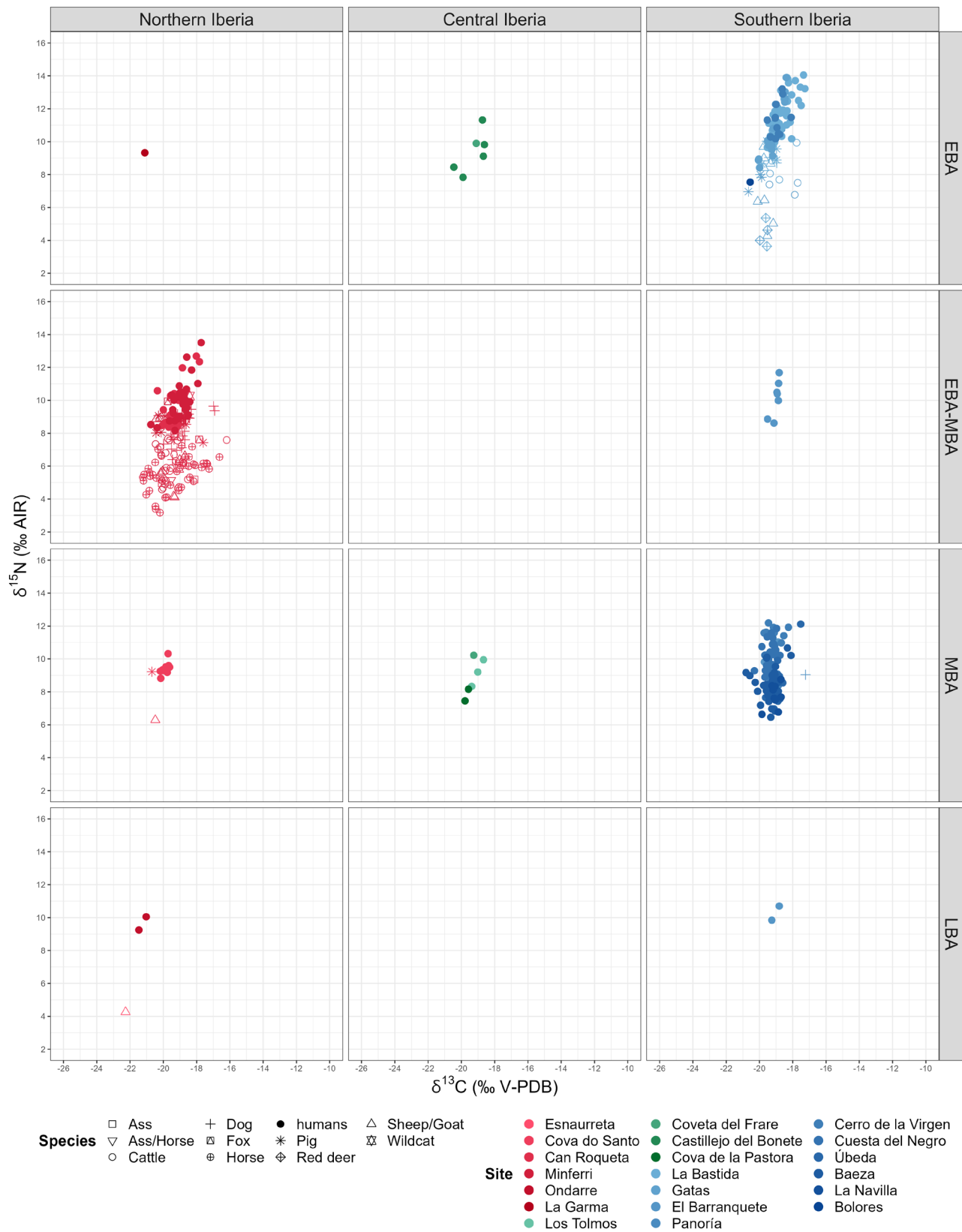


Fig. 8 – Valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ et $\delta^{13}\text{C}$ des humains et des animaux pour les sites de la Péninsule Ibérique de l'âge du Bronze.

Fig. 8 – $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values of humans and animals from Bronze Age sites in the Iberian Peninsula.

(Fernández-Crespo *et al.*, 2016). L'apport protéique élevé observé pourrait être lié au statut des individus inhumés, les cistes semblant destinées à accueillir des personnes de rang élevé (García Sanjuán *et al.*, 1999), ou à un modèle

other European regions (notably Croatia and Germany), where its consumption has sometimes been interpreted as characteristic of individuals of lower social status (Knipper *et al.*, 2014; Lightfoot *et al.*, 2015). The spread of this

de subsistance fondé principalement sur l'élevage et la consommation de produits animaux. Néanmoins, une meilleure connaissance des habitats, de l'écosystème local (flore et faune archéologiques), ainsi que des analyses isotopiques supplémentaires sur d'autres individus régionaux inhumés dans des cistes, seraient nécessaires pour vérifier ces hypothèses. Quant aux deux individus d'El Barranquete, ils présentent des valeurs isotopiques similaires à celles du reste du groupe daté du Bronze ancien-moyen, indiquant un régime alimentaire également terrestre et mixte, dominé par des plantes en C₃. Ces résultats confirment leur appartenance au même contexte socio-économique et environnemental.

En tenant compte du nombre limité d'individus, il est difficile d'établir un bilan solide pour cette période chronologique. De plus, les pratiques et les contextes funéraires de ces individus, datés du Bronze final par le radiocarbone, présentent une certaine continuité avec les cultures précédentes ; dès lors, la relative homogénéité observée dans leurs pratiques alimentaires n'apparaît pas véritablement surprenante. Même les résultats obtenus pour Minorque et Majorque, datés de la fin de l'âge du Bronze et du début de l'âge du Fer (ca. 1600-850/800 av. n. è.), comme à Cova des Pas (Sotiriadou *et al.*, 2022) ou à Ses Roques Llises (Strydomck *et al.*, 2005), bien qu'ils ne soient pas inclus dans le présent bilan, suggèrent un régime alimentaire humain fondé principalement sur la consommation de plantes en C₃, complété par un apport notable en protéines animales. Ces données confirment ainsi que, sur la base des connaissances disponibles encore limitées, aucun changement alimentaire majeur ne semble observable, contrairement à ce qui a été documenté dans les autres régions. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour combler ces lacunes et préciser les pratiques alimentaires de la fin de l'âge du Bronze.

ENTRE CONTINUITÉS ET TRANSFORMATIONS : UNE APPROCHE ISOTOPIQUE DES PRATIQUES ALIMENTAIRES À L'ÂGE DU BRONZE EN EUROPE OCCIDENTALE

L'analyse comparative des données isotopiques disponibles pour l'Italie, la France, la Suisse et l'Espagne permet de retracer l'évolution des pratiques alimentaires au cours de l'âge du Bronze en Europe occidentale. Elle offre à la fois une perspective élargie, favorable à l'identification de tendances générales à l'échelle européenne, et une approche plus fine, permettant d'appréhender les dynamiques régionales des régimes alimentaires. Il convient néanmoins de souligner que ces résultats peuvent refléter à la fois une convergence des pratiques et un effet de résolution analytique, susceptible d'atténuer la visibilité de variations plus subtiles liées à la consommation de ressources spécifiques, notamment aquatiques ou saisonnières. Au début de l'âge du Bronze, les données isotopiques mettent en évidence une rela-

cereal from the north-east of the peninsula is clearly documented in the Po Plain, within the expanding Terramare culture (Bernabò Brea *et al.*, 1997). The integration of this society into extensive exchange networks, both Mediterranean and transalpine, likely facilitated the rapid spread of millet across the peninsula. Italy thus represents one of the earliest European contexts where this cereal was integrated into the diet, as confirmed by the archaeobotanical evidence (Filipović *et al.*, 2020; Carra, 2012; Perego, 2017). Its introduction supports sustained exchanges with communities in Eastern Europe and beyond, consistent with the Asian origin of this crop (Miller *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2019; Hunt *et al.*, 2008).

In Switzerland and France, despite the limited number of studies and their uneven geographical distribution, the data for the Early Bronze Age confirm what has already been observed in Italy, namely diet primarily based on C₃ plants and animal husbandry products. This pattern persists during the Middle Bronze Age, contrary to what is observed in Italy. However, this result may be biased by the fact that, for these regions, the available data for the Middle Bronze Age are particularly limited. The introduction of millet in Switzerland and France only becomes visible from the Final Bronze Age onwards, leading to a notable diversification of dietary practices and revealing the gradual integration of new agricultural and subsistence strategies (Toulemonde *et al.*, 2022). The late spread of millet in western Switzerland could be characterised by a southern rather than an eastern introduction, via north-western Italy and Alpine circulation networks. Further research in eastern Switzerland is required to test this hypothesis.

In France, and more specifically in the Seine Valley – a strategic region since the Neolithic – an earlier introduction of millet might have been expected, as in Italy. However, the beginning of the Bronze Age remains poorly documented due to the limited number of necropolises. It is only from the Middle and Final Bronze Age onwards that demographic growth is observed, as evidenced by the spread of new settlements and funerary contexts. The Seine Valley then constitutes a key contact zone between the Atlantic traditions of northwestern Europe and continental traditions from the east, originating from the Upper Rhine Valley (Mordant, 1989 ; Peake Roscio *et al.*, 2017 ; Peake Delattre *et al.*, 2017). Within this context, this region became the centre of a extensive hydrographic network, facilitating circulation and exchange between north-eastern and southern Europe, reaching as far as the Atlantic coast and beyond (Mordant *et al.*, 2021). The rapid spread of millet and the accompanying dietary diversification confirm the central role of the Seine Valley in the trade and economy of Western Europe at the end of the Bronze Age. However, the lack of data for the rest of France does not yet allow for a detailed reconstruction of millet consumption practices, nor for the identification of potential secondary centres of spread. Overall, the available data highlights differentiated model of millet diffusion across Western Europe, marked by a chronological lag between Italy and more northern regions, likely

tive homogénéité des ressources consommées, suggérant une continuité des pratiques alimentaires par rapport aux périodes précédentes (p. ex. Farese *et al.*, 2024 ; Varalli *et al.*, 2023 ; Díaz-Zorita Bonilla *et al.*, 2019). Les régimes alimentaires semblent reposer majoritairement sur des ressources terrestres de milieux tempérés, dominées par des plantes en C₃ (blé, orge, légumineuses). Lorsque plusieurs espèces sont analysées, y compris au sein d'un même niveau trophique, des interprétations plus nuancées peuvent être proposées, telles que la prédominance de la consommation d'orge par rapport à celle du blé dans certains contextes ibériques (Knipper *et al.*, 2020). Ces apports végétaux sont complétés par la consommation de viande et de produits laitiers issus de bovins, d'ovicaprins et de porcins, avec de légères variations régionales portant à la fois sur la contribution relative des protéines animales et sur la sélection préférentielle de certaines espèces (Varalli *et al.*, 2022 ; Díaz-Zorita Bonilla *et al.*, 2019). La consommation de ressources aquatiques semble globalement rare et, lorsqu'elle est attestée, limitée à quelques sites (Varalli *et al.*, 2016).

Des dynamiques de changement se dessinent au cours des phases récentes de l'âge du Bronze dans la plupart des pays considérés, avec certaines exceptions régionales. Ces changements sont principalement liés à l'introduction progressive de nouvelles ressources, entraînant une variabilité croissante des régimes alimentaires tant à l'échelle inter-site qu'intra-site. Les différences régionales et chronologiques deviennent plus perceptibles, en lien avec une augmentation progressive des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$, attribuée à une consommation accrue de plantes en C₄ entre le Bronze moyen et le Bronze final. Parallèlement, la contribution des protéines animales évolue également, tant en quantité qu'en nature, avec notamment une augmentation de la part de viande porcine (Varalli *et al.*, 2023).

Le schéma précédemment décrit est bien visible en Italie, où les données isotopiques sont assez cohérentes au Bronze ancien, indiquant une alimentation fondée sur un recours équilibré aux céréales en C₃ et aux produits animaux. À partir du Bronze moyen, des changements drastiques sont observés. Dès la transition vers cette période, l'introduction du millet modifie sensiblement la signature isotopique des individus. À ce jour, la consommation de millet ne semble pas être associée à un sexe, un âge ou une catégorie sociale particulière, contrairement à ce qui a été observé dans d'autres régions européennes (notamment en Croatie et en Allemagne), où sa consommation a parfois été interprétée comme caractéristique des individus de statut social modeste (Knipper *et al.*, 2014 ; Lightfoot *et al.*, 2015). La diffusion progressive de cette céréale à partir du nord-est de la péninsule est bien évidente dans la plaine du Pô, au sein de la culture des Terramare alors en pleine expansion (Bernabò Brea *et al.*, 1997). L'intégration de cette société dans de vastes réseaux d'échanges, tant méditerranéens que transalpins, a vraisemblablement favorisé la diffusion rapide du millet dans l'ensemble de la péninsule. L'Italie constitue ainsi l'un des premiers contextes européens où cette

reflecting transalpine exchange dynamics and distinct regional trajectory of adoption.

By contrast, the Iberian Peninsula is characterised by lower intra- and inter-population isotopic variability, suggesting a relative homogeneity of dietary patterns throughout the Bronze Age, both in the north and the south. Nevertheless, this apparent homogeneity must be interpreted with caution, as isotopic data only partially capture dietary diversity, which may include variations that are not readily detectable through this approach. Diets are mainly based on C₃ plants and animal products. No C₄ signal is attested throughout the Bronze Age, although the data for the final phase – corresponding to the maximum spread of millet across the rest of Europe – remain limited. Archaeobotanical results nevertheless indicate that the cultivation of millet (*Panicum miliaceum* and *Setaria italica*) appears as early as the Final Bronze Age (1300–950 BCE) to a limited extent, with its presence documented at approximately 12% of sites, mainly in Mediterranean contexts. This first evidence is followed by a notable diffusion during the Early Iron Age (950–550 BCE), when the proportion of sites reaches 61%, before declining during the Iberian period (550–150 BCE) (Alonso and Bouby, 2017; Alonso and Pérez-Jordà, 2019, 2023). A possible hypothesis for its limited spread during the Final Bronze Age is that climatic conditions were too warm and arid, for its successful cultivation, or that there was no real need to introduce a new crop, in contrast to Italy and France, where demographic growth likely encouraged the adoption of millet. Nevertheless, dietary differences between human groups, even within the same region, are perceptible. Isotopic variations primarily reflect divergences in agro-pastoral strategies, notably the differentiated use of manure and varied livestock foddering regimes (Knipper *et al.*, 2020). These differences are reflected in human isotopic signatures, without indicating significant modifications to the average diet of the populations.

The introduction of millet constitutes a key turning point in dietary practices in Europe. It represents the first significant change in agricultural systems since the adoption of agriculture, and its diffusion has been interpreted as a form of 'food globalisation' (Filipović *et al.*, 2020). It was so widespread that it has been described as 'the third food revolution' (Kneisel *et al.*, 2015). As Liu *et al.* (2019) note, this process of food globalisation led to the 'integration of previously relatively isolated agricultural systems, giving rise to a new form of agriculture based on the combination of local and exogenous crops'. Within this framework, millet, as a short-cycle summer crop, was part of a broader transformation of Bronze Age farming systems. Its introduction did not replace winter cereals, such as wheat and barley, but instead contributed to a diversification of cropping calendars, enhancing the flexibility and resilience of agricultural systems in response to environmental and economic constraints (Miller *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2019). This dynamic was accompanied by the development of complementary cropping systems, such as crop rotations involving legumes and

céréale est intégrée à l'alimentation, comme le confirment également les données archéobotaniques (Filipović *et al.*, 2020 ; Carra, 2012 ; Perego, 2017). Son introduction indique des échanges soutenus avec les communautés de l'Est de l'Europe et au-delà, en lien avec l'origine asiatique de cette plante (Miller *et al.*, 2016 ; Wang *et al.*, 2019 ; Hunt *et al.*, 2008).

En Suisse et en France, malgré le nombre restreint d'études et leur répartition géographique inégale, les données disponibles pour le Bronze ancien confirment ce qui a été observé en Italie, à savoir des régimes alimentaires principalement fondés sur les plantes en C₃ et les produits issus de l'élevage. Cette tendance se maintient au Bronze moyen, contrairement à ce qui est observé en Italie. Ce résultat peut toutefois être biaisé par le fait que, pour ces régions, les données disponibles pour le Bronze moyen sont particulièrement limitées. L'introduction du millet en Suisse et en France ne se manifeste qu'à partir du Bronze final, entraînant une diversification notable des pratiques alimentaires et révélant l'intégration progressive de nouvelles stratégies culturelles et de subsistance (Toulemonde *et al.*, 2022). La diffusion tardive du millet en Suisse occidentale pourrait s'expliquer par une introduction non pas orientale, mais méridionale, via l'Italie du Nord-Ouest et les réseaux de circulation alpins. Des recherches en Suisse orientale sont nécessaires pour tester cette hypothèse.

En France, et plus particulièrement dans la vallée de la Seine – région stratégique dès le Néolithique –, une introduction plus précoce du millet aurait pu être attendue, à l'instar de l'Italie. Toutefois, le début de l'âge du Bronze y reste mal documenté, en raison du nombre limité de nécropoles. Ce n'est qu'à partir du Bronze moyen et final que l'occupation se densifie, avec le développement des habitats et des contextes funéraires. La région constitue alors une zone de contact privilégié entre les traditions atlantiques du nord-ouest et continentales de l'est, issues de la haute vallée du Rhin (Mordant, 1989 ; Peake Roscio *et al.*, 2017 ; Peake Delattre *et al.*, 2017). Dans ce contexte, cette région devient le centre d'un vaste réseau hydrographique, facilitant le transit et les échanges entre le nord-est et le sud de l'Europe, jusqu'à la façade atlantique et au-delà (Mordant *et al.*, 2021). La diffusion rapide du millet et la diversification alimentaire qui l'accompagne confirment le rôle central de la vallée de la Seine dans les échanges et l'économie de l'Europe occidentale à la fin de l'âge du Bronze. Cependant, le manque de données pour le reste de la France ne permet pas encore de documenter finement les modalités de consommation du millet ni d'identifier d'éventuels foyers secondaires de diffusion. Dans ce contexte, l'ensemble des données disponibles met en évidence un modèle de diffusion différenciée du millet en Europe occidentale, marqué par un décalage chronologique entre l'Italie et les régions plus septentrionales, probablement lié à des dynamiques de circulation transalpines et à des rythmes d'adoption régionaux distincts.

La péninsule Ibérique, en revanche, se caractérise par une variabilité isotopique intra- et inter population-

cereals, intercropping practices, and by an increased integration between agriculture and animal husbandry, notably through the use of manure, which was essential for maintaining soil fertility and supporting surplus production (Auxiette *et al.*, 2015; Auxiette and Toulemonde, 2018; Toulemonde *et al.*, 2018).

However, the modalities of millet adoption appear to be strongly regionally differentiated. In northern France (Champagne, Île-de-France), weed flora analyses do not indicate significant soil degradation (Toulemonde, 2013; Toulemonde *et al.*, 2022), suggesting that its introduction was not driven by agronomic constraint. Conversely, in Italy, the expansion of agro-pastoral areas was accompanied by severe deforestation and soil overexploitation (Mercuri *et al.*, 2012; Cremaschi *et al.*, 2006, 2016), leading to soil depletion and aridification. In this context, the adoption of more resilient crops, such as millet, associated with innovations like irrigation, appears as an adaptive response to increased environmental stress, which may explain its earlier introduction into the peninsula (Cremaschi *et al.*, 2016; Dal Corso *et al.*, 2017). These dynamics are also consistent with drought episodes documented as early as the Early Bronze Age in the Italian subalpine lakes (Valsecchi *et al.*, 2006; Baroni *et al.*, 2006), as well as with climatic variations identified in the residual $\Delta^{14}\text{C}$ curve.

By the end of the Bronze Age, millet had become a key component of food systems, embedded both in everyday subsistence practices and into certain social and symbolic dimensions of food consumption (Peake, 2020; Auxiette and Peake, 2020). Its decline from the Iron Age onwards does not reflect disappearance, but rather a restructuring of agricultural systems, characterized by greater specialisation, technical innovations and new forms of intensification (Zech-Matterne and Brun, 2016; Toulemonde *et al.*, 2017, 2022; Alonso and Pérez-Jordà, 2023). From this perspective, the history of millet during the Bronze Age does not simply reflect a change in crops, but rather a gradual rebalancing between diversification, intensification, and regional adaptation of agrarian systems.

In addition to the introduction of millet, the Bronze Age is characterized by the growing importance of legumes, whose exploitation was both for maintaining soil fertility and for increasing dietary diversity. The contribution of legumes to the diet, however, remains difficult to assess from carbon and nitrogen isotopic analyses alone. Indeed, like cereals, they belong to the C₃ plant group and cannot be distinguished on the basis of $\delta^{13}\text{C}$ values. However, their ability to fix atmospheric nitrogen results in generally lower $\delta^{15}\text{N}$ values, which can indirectly influence human isotopic signatures. Thus, in contexts characterised by low $\delta^{15}\text{N}$ enrichments, suggesting a limited consumption of animal proteins, a non-negligible proportion of protein intake could derive from legumes. In such contexts, the archaeobotanical evidence becomes essential. For example, in central Italy during the Middle Bronze Age, the combination of isotopic and archaeobotanical data suggests an increased importance of plant resources, including legumes, in the diet (Varalli

nelle plus faible, suggérant une certaine homogénéité des signatures tout au long de l'âge du Bronze, tant dans le nord que dans le sud, et donc des régimes alimentaires globalement comparables. Néanmoins, cette homogénéité apparente doit être interprétée avec prudence, dans la mesure où les données isotopiques ne rendent compte que partiellement de la diversité des pratiques alimentaires, qui peuvent inclure des variations difficilement perceptibles par cette approche. Les régimes sont centrés sur les plantes en C₃ et les produits animaux. Aucun signal C₄ n'est attesté pour l'ensemble de l'âge du Bronze, bien que les données disponibles pour l'étape finale – correspondant à la diffusion maximale du millet dans le reste de l'Europe – restent encore limitées. Les résultats archéobotaniques indiquent néanmoins que la culture du millet (*Panicum miliaceum* et *Setaria italica*) apparaît dès le Bronze final (1300-950 av. n. é.), de manière très marginale, avec une présence attestée dans environ 12 % des sites, principalement situés en contexte méditerranéen. Cette implantation initiale est suivie d'une expansion notable au premier âge du Fer (950-550 av. n. é.), où la proportion de sites atteint 61 %, avant de connaître un déclin relatif durant la période ibérique (550-150 av. n. é.) (Alonso et Bouby, 2017 ; Alonso et Pérez-Jordà, 2019, 2023). Une hypothèse possible de sa faible diffusion au Bronze final est que le climat, probablement trop chaud et aride, n'ait pas permis la culture de cette céréale, ou bien qu'il n'existait pas réellement de nécessité d'introduire une nouvelle culture, contrairement à ce qui s'est produit en Italie et en France, où l'explosion démographique a sans doute favorisé l'adoption du millet. Toutefois, des différences alimentaires entre groupes humains, même au sein d'une même région, sont perceptibles. Les variations isotopiques reflètent surtout des divergences dans les stratégies agro-pastorales, notamment l'usage différencié du fumier et la gestion variée de l'alimentation animale (Knipper *et al.*, 2020). Ces différences se retrouvent dans les signatures isotopiques humaines, sans pour autant indiquer de modifications significatives dans l'alimentation moyenne des populations.

Selon les données actuelles, l'introduction du millet constitue un marqueur majeur de transformation des pratiques alimentaires en Europe. Il s'agit du premier changement notable dans les systèmes de culture depuis l'adoption de l'agriculture, et sa diffusion a été interprétée comme une forme de « globalisation alimentaire » (Filipović *et al.*, 2020). Il était si répandu qu'il a été décrit comme « la troisième révolution alimentaire » (Kneisel *et al.*, 2015). Comme le souligne Liu *et al.* (2019), ce processus de globalisation alimentaire conduit à « l'intégration de systèmes agricoles auparavant relativement isolés, donnant lieu à une nouvelle forme d'agriculture fondée sur la combinaison de cultures locales et exogènes ». Dans ce cadre, le millet, en tant que culture estivale à cycle court, s'inscrit dans une transformation plus large des systèmes agraires de l'âge du Bronze. Son introduction ne remplace pas les céréales hivernales comme le blé et l'orge, mais contribue à une diversification des calendriers culturels, renforçant la flexibilité et la rési-

et *al.*, 2016). The site of Grotta Vittorio Vecchi is particularly emblematic: broad bean seeds account more than 50% of all botanical remains recovered (Costantini and Costantini Biasini, 2007). Combined with isotopic data, which also indicate a low consumption of animal proteins, these observations suggest that legumes played a significant role in the diet of this community. These results highlight the essential contribution of multi-proxy and interdisciplinary approaches, combining stable isotope and archaeobotanical evidence, to reconstruct subsistence practices and to assess the actual role of these plants in the human diet (Varalli *et al.*, 2022).

Another relevant aspect emerging from this synthesis concerns the contribution of animal proteins to the human diet. Animal resources played a key but variable role in Bronze Age diets. In most analysed contexts, $\delta^{15}\text{N}$ values suggest a regular consumption of animal products – meat and dairy products mainly from cattle and caprines, and to a lesser extent pigs – within diets broadly dominated by terrestrial plants. This animal contribution varies across region and period, with higher or more diversified levels in certain Iberian contexts, whereas it appears more homogeneous and moderate in Alpine and continental areas.

In Italy, isotopic values indicate an animal contribution that was globally moderate but stable from the Early Bronze Age onwards, with a gradual intensification of husbandry practices during the Middle and Recent Bronze Age. The increase in $\delta^{15}\text{N}$ values observed in the latest phases suggests a higher consumption of animal proteins. However, this trend seems to reflect responses to economic and environmental changes, notably increasing aridification that may have affected crop yields, rather than a profound transformation of dietary habits. In Switzerland, the data show a relatively constant contribution of animal resources within diets predominantly based on C₃ cereals, suggesting a balanced exploitation of animal and plant resources (Varalli *et al.*, 2021). Conversely, in France and Spain, intra- and inter-site variability points to a more flexible animal contribution, sometimes associated with differentiated access to animal products. In France in particular, a marked emphasis on pork consumption has been highlighted (Goude *et al.*, 2017 ; Varalli *et al.*, 2023).

At the scale of Western Europe, isotopic results point to dietary patterns based on a long-term complementarity between plant and animal resources, where animal proteins constitute an important, but not systematically dominant, component of the diet. Their contribution appears to have been shaped by local animal husbandry systems, agricultural practices – notably manuring and animal feeding – and environmental conditions, rather than by major changes in dietary habits throughout the Bronze Age.

Another aspect related to the role of animal proteins concerns the contribution of isotopic analyses to the study of social stratification. The growing body of isotopic data enables the assessment of the extent to which dietary practices reflect differences in social status between individuals or groups (Cavazzuti and Arena, 2020; Colleter *et*

lience des systèmes agricoles face aux contraintes environnementales et économiques (Miller *et al.*, 2016 ; Liu *et al.*, 2019). Cette dynamique s'accompagne du développement de systèmes de cultures complémentaires – rotations légumineuses/céréales, associations culturales – et d'une intégration accrue entre agriculture et élevage, notamment via l'utilisation du fumier, indispensables au maintien de la fertilité des sols et à la production de surplus (Auxiette *et al.*, 2015 ; Auxiette et Toulemonde, 2018 ; Toulemonde *et al.*, 2018).

Toutefois, les modalités d'adoption du millet apparaissent fortement différenciées à l'échelle régionale. Dans le nord de la France (Champagne, Île-de-France), les analyses de la flore adventice n'indiquent pas de dégradation significative des sols (Toulemonde, 2013 ; Toulemonde *et al.*, 2022), suggérant que son introduction ne répond pas à une contrainte agronomique immédiate. À l'inverse, en Italie, l'expansion des surfaces agro-pastorales s'accompagne d'une forte déforestation et d'une surexploitation des sols (Mercuri *et al.*, 2012 ; Cremaschi *et al.*, 2006, 2016), entraînant leur appauvrissement et leur assèchement. Dans ce contexte, l'adoption de cultures plus résistantes, comme les millets, associée à des innovations telles que l'irrigation, apparaît comme une réponse adaptative à des contraintes environnementales accrues, ce qui pourrait expliquer leur introduction plus précoce dans la péninsule (Cremaschi *et al.*, 2016 ; Dal Corso *et al.*, 2017). Ces dynamiques sont en outre compatibles avec les épisodes de sécheresse documentés dès le Bronze ancien dans les lacs subalpins italiens (Valsecchi *et al.*, 2006 ; Baroni *et al.*, 2006), ainsi qu'avec des variations climatiques identifiées dans les courbes de $\Delta^{14}\text{C}$.

À la fin de l'âge du Bronze, le millet s'impose ainsi comme un élément structurant des systèmes alimentaires, intégré à la fois dans les pratiques quotidiennes et dans certaines dimensions sociales et symboliques de l'alimentation (Peake, 2020 ; Auxiette et Peake, 2020). Son déclin à partir de l'âge du Fer ne traduit pas une disparition, mais plutôt une reconfiguration des systèmes agricoles, marquée par une spécialisation accrue soutenue par des innovations techniques et par l'émergence de nouvelles formes d'intensification (Zech-Matterne et Brun, 2016 ; Toulemonde *et al.*, 2017, 2022 ; Alonso et Pérez-Jordà, 2023). Dans cette perspective, l'histoire du millet à l'âge du Bronze ne relève pas d'un simple changement de culture, mais témoigne d'une transformation progressive des équilibres entre diversification, intensification et adaptation régionale des systèmes agraires.

Outre l'introduction du millet, l'âge du Bronze se distingue par l'importance croissante des légumineuses, dont l'exploitation apparaît essentielle tant pour le maintien de la fertilité des sols que pour l'accroissement de la diversité des régimes alimentaires. La contribution des légumineuses à l'alimentation reste toutefois difficile à appréhender directement à partir des seules analyses isotopiques du carbone et de l'azote. En effet, comme les céréales, elles appartiennent au groupe des plantes en C_3 et ne peuvent donc pas être distinguées sur la

al., 2026). While in some regions of Europe, such as Germany, a correlation between high social status and greater consumption of animal proteins has been demonstrated (Knipper *et al.*, 2014), evidence from Western Europe suggest a more nuanced picture, with considerable variations depending on regional contexts. In northern Italy, isotopic values reveal no significant differences between individuals associated with rich grave goods and those lacking them, suggesting a relative homogeneity of diets despite the existence of social hierarchies (e.g. Olmo di Nogara). Furthermore, the consumption of C_4 plants, such as millet, appears to be widely shared within the populations. In other contexts, notably in southern Italy, bioarchaeological data, although more limited, also suggest that social inequalities do not necessarily translate into dietary differences. On the whole, these results indicate that, in Bronze Age Italy, social distinctions were expressed more through funerary practices and the distribution of grave goods rather than through dietary practices.

France and Switzerland show a broadly comparable pattern. Several archaeological contexts points to the presence of high-status individuals whose isotopic signatures do not differ from those of the rest of the population, indicating broadly similar dietary practices despite social differentiation. At Vufflens-la-Ville (Switzerland), for example, the relatively rich grave goods suggest a necropolis reserved for a local elite, (Mariéthoz *et al.*, 2005), yet the isotopic evidence provide no indication of a higher consumption of animal proteins. Similarly, in France, despite the existence of sites with an aristocratic character such as Villiers-sur-Seine, where faunal assemblages attest to substantial meat consumption in feasting contexts, isotopic data indicate that the diet remained broadly similar within communities. Furthermore, the selection of specific cut of meat and food preparation practices can substantially influence diet quality without being detectable through stable isotope analysis. Consequently, dietary differentiation within these populations was likely more pronounced than suggested by isotopic evidence from human bone collagen alone. This picture may evolve as new isotopic evidence becomes available, and further multi-proxy analyses will be necessary to refine the understanding of how economic practices and social differentiation shaped everyday dietary behaviour.

In Spain, although human diets are globally homogeneous – relying principally on terrestrial resources, C_3 -type cereals and animal products – certain sites, such as Cuesta del Negro and La Bastida, suggest possible social differentiation. A few individuals present higher $\delta^{15}\text{N}$ values, which could reflect greater consumption of animal proteins and are sometimes interpreted as an indication of a higher social status (Molina-González *et al.*, 2019 ; Knipper *et al.*, 2020). These sites are associated with the Argaric culture of southeastern Spain, a society characterised by strong hierarchical organization and significant social inequalities (Lull *et al.*, 2013). The spread of this culture is accompanied by shifts in dietary practices (Díaz-Zorita Bonilla *et al.*, 2019 ; Molina *et al.*,

base des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$. Toutefois, leur capacité à fixer l'azote atmosphérique se traduit par des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ généralement plus faibles, ce qui peut influencer indirectement les signatures isotopiques humaines. Ainsi, dans les contextes caractérisés par de faibles enrichissements en $\delta^{15}\text{N}$, suggérant une consommation limitée de protéines animales, une part non négligeable des apports protéiques pourrait provenir des légumineuses. Dans ces contextes, la présence de données archéobotaniques deviennent essentielles. Par exemple, en Italie centrale au Bronze moyen, la combinaison des données isotopiques et archéobotaniques suggère une importance accrue des ressources végétales, incluant les légumineuses, dans l'alimentation (Varalli *et al.*, 2016). Le site de Gr. Vittorio Vecchi est particulièrement emblématique : les graines de fèves y représentent plus de 50 % de l'ensemble des restes botaniques (Costantini et Costantini Biasini, 2007). Combinées aux données isotopiques, qui indiquent également une faible consommation de protéines animales, ces observations suggèrent que les légumineuses occupaient une place significative dans l'alimentation de cette communauté. Ces résultats illustrent ainsi l'apport essentiel des approches pluridisciplinaires, combinant isotopes et archéobotanique, pour reconstruire les pratiques de subsistance et évaluer le rôle réel de ces plantes dans l'alimentation humaine (Varalli *et al.*, 2022).

Un autre aspect intéressant qui émerge de cette synthèse concerne la contribution des protéines animales à l'alimentation humaine. L'apport carnée occupe une place structurelle mais variable dans les régimes alimentaires de l'âge du Bronze. Dans la plupart des contextes analysés, les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ suggèrent une consommation régulière de produits d'origine animale – viande et produits laitiers issus principalement des bovins et des ovi-caprins, et dans une moindre mesure du porc – intégrés dans des régimes globalement dominés par les ressources végétales terrestres. Cette contribution animale apparaît toutefois contrastée selon les régions et les périodes, avec des niveaux plus élevés ou plus diversifiés dans certains contextes de la péninsule Ibérique, tandis qu'elle reste plus homogène et modérée dans les ensembles alpins et continentaux.

En Italie, les valeurs isotopiques indiquent une contribution animale globalement modérée mais stable dès le Bronze ancien, avec une intensification progressive des pratiques d'élevage au Bronze moyen et récent, sans substitution des ressources végétales. L'augmentation des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ observée dans les phases les plus récentes suggère une consommation accrue de protéines animales, tendance qui semble toutefois refléter davantage des ajustements économiques et environnementaux, notamment une aridification croissante ayant pu affecter les rendements agricoles, qu'une transformation profonde des habitudes alimentaires. En Suisse, les données montrent un apport animal relativement constant au sein de régimes majoritairement fondés sur les céréales C_3 , suggèrent une exploitation équilibrée des ressources animales et végétales (Varalli *et al.*, 2021). En France et en

2016). It has also been shown that variability in nitrogen isotope values is linked to funerary practices and closely reflects cultural changes during the Argaric Bronze Age. As noted by Díaz-Zorita Bonilla *et al.* (2019), “humans buried in individual graves present both higher and more varied $\delta^{15}\text{N}$ values, whereas those buried in collective tombs show more homogenised values over time”. It has been highlighted that “the consumption of cattle, sheep or goat meat in Argaric funerary feasting followed an accurate social pattern. Bovine meat was consumed only as part of the ritual feasting of the ruling elites, whereas caprines were more frequently linked to rituals involving lower-status groups, as well as to children under 12 years of age” (Sánchez Romero *et al.*, 2007; Aranda Jiménez and Esquivel Guerrero, 2007; Aranda Jiménez, 2016; Díaz-Zorita Bonilla *et al.*, 2019).

Taken together, these results suggest that the relationships between diet and social status during the Bronze Age were neither straightforward nor systematic, but rather strongly shaped by the specific cultural, economic and regional context.

CONCLUSION

This study provides a synthesis of human and animal isotopic data aimed at reconstructing dietary patterns in Western Europe during the Bronze Age. Some regions remain poorly or not yet explored from an isotopic perspective, meaning that the overview presented here is likely to evolve in light of future research. Despite significant regional gaps, several robust patterns already emerge, including the consumption of C_4 plants (particularly millet) and the recurring role of animal proteins, with pork playing a significant role in certain contexts. Beyond these general trends, the individual-scale approach represents a key methodological contribution. It highlights significant variability in dietary practices within a single site, revealing internal differences that cannot be captured by isotopic mean values alone.

This work therefore represents a first step towards a more detailed, multi-scalar understanding of food systems during this period. Diet cannot be reduced to a mere biological necessity: it is a vector of social organisation, technical innovation and cultural expression. Beyond its economic dimensions, food practices play a key role in shaping the social and cultural identities of groups. In this context, isotopic analyses are now an indispensable tool. However, as this study shows, their interpretative potential is significantly enhanced when integrated within a multidisciplinary framework combining isotopic data across the entire food chain (plant, animal and human remains) with anthropological, bioarchaeological and palaeoenvironmental data. Such an approach is essential for understanding the complexity of subsistence strategies and the adaptive capacities of communities in response to climatic and socio-economic changes during a pivotal period such as the Bronze Age.

Espagne, les variations intra- et inter-sites témoignent en revanche d'une contribution animale plus flexible, parfois associée à des modalités d'accès différencié aux produits d'élevage. En France en particulier, un intérêt marqué pour la viande porcine a été mis en évidence (Goude *et al.*, 2017 ; Varalli *et al.*, 2023)

À l'échelle de l'Europe occidentale, les résultats isotopiques montrent un modèle alimentaire fondé sur une complémentarité durable entre ressources végétales et animales, où les protéines animales jouent un rôle essentiel dans la structuration des régimes, sans domination systématique. Leur contribution semble davantage dépendre des systèmes locaux d'élevage, des pratiques agricoles, notamment la fumure et l'alimentation animale, et des contextes environnementaux, plutôt que par une évolution significative des habitudes alimentaires au cours de l'âge du Bronze.

Un autre aspect, lié au rôle des protéines animales, concerne l'apport des analyses isotopiques à l'étude de la stratification sociale. L'enrichissement du corpus isotopique contribue de plus en plus à évaluer dans quelle mesure les pratiques alimentaires reflètent des différences de statut entre individus ou groupes (Cavazzuti et Arena, 2020 ; Colleter *et al.*, 2026). Si, dans certaines régions d'Europe, comme en Allemagne (Knipper *et al.*, 2014), une corrélation entre statut élevé et consommation accrue de protéines animales a été mise en évidence, les données provenant de l'Europe occidentale suggèrent une situation globalement plus nuancée, avec des variations selon les contextes régionaux. En Italie du Nord, les valeurs isotopiques ne révèlent généralement pas de différences significatives entre individus associés à des mobiliers funéraires riches et ceux qui en sont dépourvus, suggérant une relative homogénéité des régimes alimentaires malgré l'existence de hiérarchies sociales (e.g Olmo di Nogara). Par ailleurs, la consommation de plantes en C₄, telles que le millet, apparaît largement partagée au sein des populations. Dans d'autres contextes, notamment en Italie méridionale, les données bioarchéologiques, bien que plus limitées, suggèrent également que les inégalités sociales ne se traduisent pas nécessairement par des différences alimentaires marquées. Dans l'ensemble, ces résultats indiquent que, dans l'Italie de l'âge du Bronze, les distinctions sociales s'exprimaient davantage dans les pratiques funéraires et la distribution des biens que dans les pratiques alimentaires quotidiennes.

En France et en Suisse la situation apparaît globalement comparable. Plusieurs contextes suggèrent la présence d'individus à statut élevé dont la position sociale ne se reflète pas clairement dans les signatures isotopiques, lesquelles indiquent des régimes alimentaires assez homogènes. Le site de Vufflens-la-Ville (Suisse), dont le mobilier funéraire relativement riche suggère une nécropole réservée à une élite locale (Mariéthoz *et al.*, 2005), ne présente pas de signatures isotopiques indiquant une consommation plus élevée de protéines animales. De même, en France, malgré l'existence de sites à caractère aristocratique comme Villiers-sur-Seine, où les spectres fauniques témoignent de consommations car-

NOTE

1. For La Motilla del Azuer, only mean data is available: $\delta^{13}\text{C} = -18,6\text{‰} \pm 0,3\text{‰}$ (1 σ) ; $\delta^{15}\text{N} = 10,6\text{‰} \pm 0,3\text{‰}$ (1 σ) ; n = 59 (Nájera Colino *et al.*, 2010).

Acknowledgements. I would like to thank Rebecca Peake and Estelle Herrscher for granting access to unpublished data from the *Bronz'Pal* PCR project, which is currently ongoing, as well as Solenne Chevallier for the unpublished data from her Master's thesis. I would also like to thank Zita Laffranchi for her valuable information regarding the Motilla site. A special tribute is due to Luigi Di Francescantonio, a devoted and passionate archaeologist who passed away prematurely in June 2026, whose support was instrumental in making all my research in Liguria possible. Finally, I would like to extend my special thanks to Rebecca Peake for her careful proofreading of the original French version of this work.

I would also like to express my gratitude to all those I have met over the years and with whom I have had fruitful discussions in various fields of research in Western Europe, spanning a range of disciplines (archaeology, archaeozoology, archaeobotany and anthropology). These exchanges have been essential to the preparation of this work. I would also like to express my gratitude to the reviewers for their insightful comments and constructive suggestions, which have helped to enhance the scientific quality of this article.

An artificial intelligence tool (ChatGPT) was used for the linguistic editing of the original French version of the manuscript (syntax and spelling), without any intervention in the scientific content.

nées dans des contextes festifs, les données isotopiques indiquent que le régime alimentaire quotidien demeurerait globalement similaire au sein des communautés. De plus, il convient de souligner que la sélection de certaines portions de viande ainsi que les modes de préparation des aliments influencent fortement la qualité du régime alimentaire, sans pour autant être perceptibles dans les données isotopiques. Par conséquent, la différenciation des pratiques alimentaires au sein de ces populations a probablement été plus marquée que ne le suggère la composition isotopique du collagène osseux humain. Ce constat pourrait évoluer avec l'acquisition de nouvelles données isotopiques, et des analyses complémentaires seront nécessaires pour affiner la compréhension des implications quotidiennes de l'exploitation économique et des différenciations sociales.

En Espagne, bien que l'alimentation humaine soit globalement homogène – reposant principalement sur des ressources terrestres, des céréales de type C₃ et des produits animaux – certains sites, comme Cuesta del Negro et La Bastida, suggèrent de possibles distinctions sociales. Quelques individus présentent des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ plus élevées, qui pourraient refléter une consommation accrue de protéines animales et sont parfois interprétées comme l'indice d'un statut social plus élevé (Molina-González *et al.*, 2019 ; Knipper *et al.*, 2020). Ces sites sont associés à la culture argarique, présente dans le sud-est de l'Espagne, caractérisée par une société fortement hiérarchisée et marquée par d'importantes asymétries sociales (Lull *et al.*, 2013). La diffusion de cette culture s'accompagne de transformations dans les pratiques alimentaires (Díaz-Zorita Bonilla *et al.*, 2019 ; Molina *et al.*, 2016). Il a été mis en évidence que la variabilité des isotopes de l'azote dépend des pratiques funéraires, en lien étroit avec les changements culturels au cours de l'âge du Bronze argarique. Comme mentionné par Díaz-Zorita Bonilla *et al.* (2019), « les individus inhumés dans des tombes individuelles présentent des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ à la fois plus élevées et plus dispersées, tandis que ceux enterrés dans des sépultures collectives montrent des valeurs plus homogènes au cours du temps. Ce schéma concorde avec les variations observées dans la consommation de viande au sein des pratiques funéraires argariques. La répartition des espèces animales lors des banquets funéraires répondait à une logique sociale différenciée » La viande bovine semble avoir été principalement associée aux contextes élitaires, tandis que les ovins et caprins apparaissent davantage liés aux rituels des groupes de statut plus modeste ainsi qu'aux sépultures d'enfants de moins de 12 ans (Sánchez Romero *et al.*, 2007 ; Aranda Jiménez et Esquivel Guerrero, 2007 ; Aranda Jiménez, 2016 ; Díaz-Zorita Bonilla *et al.*, 2019).

Pris dans leur ensemble, ces résultats suggèrent que les relations entre alimentation et statut social au cours de l'âge du Bronze ne sont ni univoques ni systématiques, et qu'elles dépendent étroitement des dynamiques culturelles, économiques et régionales propres à chaque contexte.

CONCLUSION

Cette étude présente une synthèse des données isotopiques humaines et animales visant à reconstruire les régimes alimentaires en Europe occidentale à l'âge du Bronze. Certaines régions restent encore peu, voire pas du tout, explorées sur le plan isotopique, de sorte que le panorama proposé ici est susceptible d'évoluer significativement à la lumière de futures études. Malgré des lacunes régionales importantes, plusieurs tendances robustes se dégagent déjà, notamment la consommation de plantes en C₄ (en particulier le millet) et la place récurrente des protéines animales, avec une importance marquée de la viande porcine dans certains contextes. Au-delà de ces tendances générales, l'approche à l'échelle individuelle constitue un apport méthodologique essentiel. Elle permet de mettre en évidence, au sein d'un même site, une forte variabilité des pratiques alimentaires, révélant des différenciations internes qui ne peuvent être appréhendées par les seules moyennes isotopiques.

Ce travail constitue ainsi une première étape vers une compréhension plus fine et multi-scalaire des systèmes alimentaires de cette période. L'alimentation ne peut être réduite à une simple nécessité biologique : elle constitue un vecteur d'organisation sociale, d'innovation technique et d'expression culturelle. Au-delà des dimensions économiques, les pratiques alimentaires participent pleinement à la construction des identités sociales et culturelles des groupes. Dans ce cadre, les analyses isotopiques sont aujourd'hui un outil incontournable. Toutefois, comme le montre cette étude, leur interprétation gagne en pertinence lorsqu'elles sont intégrées dans une approche pluridisciplinaire combinant données isotopiques sur l'ensemble de la chaîne trophique (restes végétaux, animaux et humains), données anthropologiques, bioarchéologiques et paléoenvironnementales. Une telle démarche est essentielle pour appréhender la complexité des stratégies de subsistance et les capacités d'adaptation des communautés face aux changements climatiques et socio-économiques d'une période charnière comme l'âge du Bronze.

NOTE

1. Pour La Motilla del Azuer, seules les données moyennes sont disponibles : $\delta^{13}\text{C} = -18,6\text{‰} \pm 0,3\text{‰}$ (1 σ) ; $\delta^{15}\text{N} = 10,6\text{‰} \pm 0,3\text{‰}$ (1 σ) ; n = 59 (Nájera Colino *et al.*, 2010).

Remerciements. Je tiens à remercier Rebecca Peake et Estelle Herrscher pour la mise à disposition des données inédites issues du projet PCR *BronzPal*, sur lequel nous travaillons actuellement, ainsi que Solenne Chevallier pour les données inédites provenant de son mémoire de master. Je remercie également Zita Laffranchi pour les précieuses informations concernant le site de Motilla. Je tiens à rendre un hommage particulier à Luigi Di Francescantonio, archéologue dévoué et passionné qui nous a quittés prématurément en juin 2026, et dont le soutien a été déterminant dans la réalisation de mes recherches en Ligurie.

Enfin, je remercie tout particulièrement Rebecca Peake pour sa relecture attentive de ce travail.

Je souhaite également exprimer ma gratitude à toutes les personnes que j'ai rencontrées au cours de ces années et avec lesquelles j'ai eu des discussions enrichissantes dans différents domaines de recherche en Europe occidentale, couvrant diverses disciplines (archéologie, archéozoologie, archéobotanique, anthropologie). Ces échanges ont été essentiels à l'élaboration de

ce bilan. J'exprime également ma gratitude aux réviseurs pour leurs observations pertinentes et leurs suggestions éclairées, qui ont contribué à renforcer la qualité scientifique de cet article.

Un outil d'intelligence artificielle (ChatGPT) a été utilisé exclusivement à des fins de révision linguistique de la version originale du manuscrit en français (syntaxe et orthographe), sans intervention sur le contenu scientifique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES / BIBLIOGRAPHICAL REFERENCES

- ALONSO N., BOUBY L. (2017) – Plant Resources from the Bronze Age and the first Iron Age in the northwestern arc of the Mediterranean Basin, *Comptes Rendus Palevol*, 16, 4, p. 363-377.
- ALONSO N., PÉREZ-JORDÀ G. (2019) – Elites and Farmers in Iberian Iron Age Cities (7th-2nd Centuries BC): Storage and Processing of Agricultural Products, in *Country in the City Agricultural Functions of Protohistoric Urban Settlements (Aegean and Western Mediterranean)*, Oxford, Archaeopress, p. 7-22.
- ALONSO N., PÉREZ-JORDÀ G. (2023) – The Origins of Millet Cultivation (*Panicum miliaceum* and *Setaria italica*) along Iberia's Mediterranean Area from the 13th to the 2nd Century BC, *Agronomy*, 13, 2, p. 584.
- AMBROSE S.H. (1993) – Isotopic analysis of paleodiets: methodological and interpretative considerations, in M. K. Sandford (dir.), *Investigation of ancient human tissue. Chemical analyse in anthropology*, Langhorne, Gordon and Breach Science Publishers, p. 59-130.
- AMBROSE S.H., DENIRO M.J. (1986) – The isotopic ecology of East African mammals, *Oecologia*, 69, p. 395-406.
- AMBROSE S.H., NORR L. (1993) – Experimental evidence for the relationship of the carbon isotope ratios of whole diet and dietary protein to those of bone collagen and carbonate, in J. B. Lambert et G. Grupe (dir.), *Prehistoric human bone. Archaeology at the molecular level*, Berlin, Springer-Verlag, p. 1-37.
- ARANDA JIMÉNEZ G. (2016) – Meat consumption as a social strategy: feeding new identities in Early Bronze Age societies in Iberia, in *To feed the body, to nourish the soul, to create sociability Food and commensality in pre and protohistoric societies*, Instituto de Arqueologia | Secção de Arqueologia | FLUC Centro de Estudos Pré-Históricos da Beira Alta | CEPBA Palimpsesto, Estudo e Preservação do Património Cultural Lda.
- ARANDA JIMÉNEZ G., ESQUIVEL GUERRERO J.A. (2007) – Poder y prestigio en las sociedades de la cultura de El Argar. El consumo comunal de bóvidos y ovicápridos en los rituales de enterramiento, *Trabajos de Prehistoria*, 64, 2, p. 95-118.
- ARENA F. (2017) – *Ancient food habits of a Bronze Age population living in Southern Italy*, Thèse de doctorat, Università degli Studi di Ferrara.
- ARENA F., GUALDI-RUSSO E., OLSEN J., PHILIPPSEN B., MANNINO M.A. (2020) – New data on agro-pastoral diets in southern Italy from the Neolithic to the Bronze Age, *Archaeological and Anthropological Sciences*, 12, 10, p. 245.
- ARIAS CABAL P. (2005) – Determinaciones de isótopos estables en restos humanos de la región Cantábrica: aportación al estudio de la dieta de las poblaciones del Mesolítico y el Neolítico, *Munibe Antropologia-Arkeologia*, 57, p. 359-374.
- ARRIGHI S., MORONI LANFREDINI A. (2007) – Sansepolcro (AR). Gorgo del Ciliegio, *Notiziario della Soprintendenza per i Beni Archeologici della Toscana*, 3, p. 542-544.
- AUXIETTE G. (2025) – L'alimentation carnée à l'âge du Bronze. Un tour d'horizon dans le Nord de la France, in *L'âge du Bronze en France*, Paris, Inrap/CNRS Éditions (coll. Recherches archéologiques, 29), p. 141-148.
- AUXIETTE G., HACHEM L. (2021) – *Farm, Hunt, Feast, Celebrate. Animals and Society in Neolithic, Bronze and Iron Age Northern France*, Sidestone Press.
- AUXIETTE G., PEAKE R. (2020) – Festoyer à Villiers-sur-Seine (Seine-et-Marne) – Pratiques commensales dans un habitat aristocratique à la fin de l'âge du Bronze, *Autour de la table : l'alimentation à l'âge du Bronze et au premier âge du Fer*, p. 137-154.
- AUXIETTE G., PEAKE R., TOULEMONDE F. (2015) – Food production and diet during the Late Bronze Age in the upper Seine valley (France), in J. Kneisel, M. Dal Corso, W. Kirleis, H. Scholz, N. Taylor, V. Tiedtke (dir.), *The third food revolution? Setting the Bronze Age Table: Common trends in economic and subsistence strategies in Bronze age Europe*, Bonn, Rudolf Habelt Verlag, p. 48-61.
- AUXIETTE G., TOULEMONDE F. (2018) – L'intensification agricole de la fin de l'âge du Bronze et du premier âge du Fer : entre pratiques familiales et pratiques communautaires, in *Archéologie dans l'Aube - Des premiers paysans au prince de Lavau - 5300 à 450 avant notre ère*, Snoeck, p. 178-185.
- BARONI C., ZANCHETTA G., FALICK A.E., LONGINELLI A. (2006) – Mollusca stable isotope record of a core from Lake Frassino, northern Italy: hydrological and climatic changes during the last 14 ka, *The Holocene*, 16, 6, p. 827-837.
- BEECHING A. (1977) – Le Boiron: une nécropole du Bronze final près de Morges (Vaud-Suisse), *Cahiers d'archéologie romande*, 11, p. 1-202.
- BERNABÒ BREA M., CARDARELLI A., CREMASCHI M. (dir.) (1997) – *Le Terramare. La più antica civiltà padana*, Milano, Electa.
- BIETTI SESTIERI A.M. (2010) – *L'Italia nell'età del Bronzo e del Ferro. Dalle palafitte a Romolo*, Roma, Carocci.

- BOCHERENS H., DRUCKER D. (2003) – Trophic level isotopic enrichment of carbon and nitrogen in bone collagen: Case studies from recent and ancient terrestrial ecosystems, *International Journal of Osteoarchaeology*, 13, 1-2, p. 46-53.
- BOGAARD A., FRASER R., HEATON T.H.E., WALLACE M., VAIGLOVA P., CHARLES M., JONES G., EVERSLED 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 of the USA*, 110, 31, p. 12589-94.
- BOUBY L., DIETSCH-SELLAMI M.-F., MARTIN L., MARINVAL P., WIETHOLD J. (2018) – Chapitre 8. Ressources végétales et économie de subsistance au Néolithique en France (6000-2000 av. J.-C.), in *La protohistoire de la France*, Paris, Hermann, p. 141-152.
- BOUBY L., TOULEMONDE F. (2025) – L'alimentation végétale à l'âge du Bronze en France, in *L'âge du Bronze en France (2500 à 800 avant notre ère) Synthèses thématiques*, Paris, CNRS Éditions/Inrap (coll. Recherches archéologiques, 29).
- BOUBY L., ZECH-MATTERNE V., BOUCHETTE A., CABANIS M., DERREUMAUX M., DIETSCH-SELLAMI M.-F., DURAND F., FIGUEIRAL I., MARINVAL P., PARADIS L., PRADAT B., ROUSSELET O., BUENDIA N.R., SCHAAL C., TOULEMONDE F., WIETHOLD J. (2017) – Ressources et économie agricole en France à l'âge du Bronze et au premier âge du Fer : les données carpologiques, in L. Carozza, C. Marcigny, M. Talon (dir.), *L'habitat et l'occupation des sols à l'âge du Bronze et au début du premier âge du Fer*, Paris, CNRS Éditions/Inrap, p. 299-326.
- CARRA M.L. (2012) – *Per una storia della cerealicoltura in Italia settentrionale dal Neolitico all'Età del Ferro: strategie adattive e condizionamenti ambientali*, Thèse de doctorat, Università degli Studi di Bologna.
- CASTELLETTI L., CASTIGLIONI E., ROTTOLI M. (2001) – L'agricoltura dell'Italia settentrionale dal Neolitico al Medioevo, in O. Failla et G. Forni (dir.), *Le piante coltivate e la loro storia. Dalle origini al transgenico in Lombardia nel centenario della riscoperta della genetica di Mendel*, Milano, Angeli, p. 33-84.
- CAVAZZUTI C., ARENA A. (2020) – The Bioarchaeology of Social Stratification in Bronze Age Italy, *Archeo*, 37, p. 69-105.
- CERLING T.E., HARRIS D.A. (1999) – Carbon isotope fractionation between diet and bioapatite in ungulate mammals and implications for ecological and paleoecological studies, *Oecologia*, 120, p. 347-363.
- CHEVALLIER S. (2022) – *Les pratiques alimentaires à l'âge du Bronze en Auvergne : étude multi-isotopique d'Aulnat Zalo et ses environs*, mémoire de master, Aix-Marseille Université.
- COLLETER R., JAOUEN K., GARCIA D., RICHARDS M.P. (2026) – Dietary inequality marker reveals 10,000 years of gender and cultural disparity in Europe, *PNAS Nexus*, 5, 4, p. 033.
- CORTESE F., DE ANGELIS F., ACHINO K.F., BONTEMPO L., DI CICCIO M.R., GATTA M., LUBRITTO C., SALARI L., SILVESTRI L., RICKARDS O., ROLFO M.F. (2022) – Isotopic reconstruction of the subsistence strategy for a Central Italian Bronze Age community (Pastena cave, 2nd millennium BCE), *Archaeological and Anthropological Sciences*, 14, 10, p. 201.
- COSTANTINI L., COSTANTINI BIASINI L. (2007) – Economia agricola del Lazio a sud del Tevere tra Bronzo antico e Bronzo medio, in *Atti della XL riunione scientifica Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria*, Firenze, Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria, p. 787-801.
- COUREL B., SCHAEFFER P., ADAM P., MOTSCH E., EBERT Q., MOSER E., FÉLIU C., BERNASCONI S.M., HAJDAS I., ERTLEN D., SCHWARTZ D. (2017) – Molecular, isotopic and radiocarbon evidence for broomcorn millet cropping in Northeast France since the Bronze Age, *Organic Geochemistry*, 110, p. 13-24.
- CREMASCHI M., MERCURI A.M., TORRI P., FLORENZANO A., PIZZI C., MARCHESINI M., ZERBONI A. (2016) – Climate change versus land management in the Po Plain (Northern Italy) during the Bronze Age: New insights from the VP/VG sequence of the Terramara Santa Rosa di Poviglio, *Quaternary Science Reviews*, 136, p. 153-172.
- CREMASCHI M., PIZZI C., VALSECCHI V. (2006) – Water management and land use in the terramare and a possible climatic co-factor in their abandonment: The case study of the terramara of Poviglio Santa Rosa (northern Italy), *Quaternary International*, 151, 1, p. 87-98.
- DAL CORSO M., MARCHESINI M., LEONARDI G., KIRLEIS W. (2012) – Environmental changes and human impact during Bronze Age in northern Italy: on-site palynological investigation at Fondo Paviani (Legnago, Verona), in *Collapse or Continuity? environment and Development of Bronze Age Human landscapes Band 205*, Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie, p. 71-84.
- DAL CORSO M., NICOSIA C., BALISTA C., CUPITÒ M., DALLA LONGA E., LEONARDI G., KIRLEIS W. (2017) – Bronze Age crop processing evidence in the phytolith assemblages from the ditch and fen around Fondo Paviani, northern Italy, *Vegetation History and Archaeobotany*, 26, 1, p. 5-24.
- DAL CORSO M., ZANON M., HERON C., ROTTOLI M., CUPITÒ M., DELLA LONGA E., KIRLEIS W. (2022) – Exploiting the feasibility of biomarker analysis in alluvial contexts: The first miliacin evidence from the northern Italian Bronze Age, in W. Kirleis, M. Dal Corso, et D. Filipović (dir.), *Millet and what else? The wider context of the adoption of millet cultivation in Europe*, Sidestone Press, p. 231-256.
- DALLA LONGA E., DAL CORSO M., ROTTOLI M., MANFRIN M.S., FAPANNI F., VARALLI A., NICOSIA C. (2024) – Multiple perspectives on culinary traditions in 2nd millennium BCE Northern Po Plain, *30th European Association of Archaeologists Annual Meeting, Aug 2024, Roma*.
- D'AQUINO S., STEFANI I., POLISCA F., BERNABEI M., NICOSIA C., DAL CORSO M. (2026) – The lost woodlands of the Po Plain: wooden resources from the Middle Bronze Age site of Oppeano 4D (Verona, northern Italy), *Vegetation History and Archaeobotany*.
- DE GROSSI MAZZORIN J. (2013) – Considerazioni sullo sfruttamento animale nell'area delle Palafitte, in J. De Grossi Mazzorin, A. Curci, et G. Giacobini (dir.), *Economia e ambiente*

- nell'Italia padana dell'età del bronzo. *Le indagini bioarcheologiche*, Bari, Edipuglia, p. 155-160.
- DE GROSSI MAZZORIN J. (1995) – Economie di Allevamento in Italia centrale dalla media Età del Bronzo alla fine dell'Età del Ferro, in N. Christie (dir.), *Settlement and Economy in Italy 150 BC to AD 1500*, Oxford, Oxbow Books, p. 167-177.
- DE GROSSI MAZZORIN J., RIEDEL A., TAGLIACCOZZO A. (2004) – L'evoluzione delle popolazioni animali e dell'economia nell'età del Bronzo Recente, in D. Cocchi Genick (dir.), *L'età del Bronzo Recente in Italia*, Viareggio-Lucca, Baroni, p. 227-232.
- DEBANDI F.I. (2021) – *Sistemi di gestione economica e alimentazione nelle comunità dell'età del Bronzo con particolare riferimento all'Italia settentrionale*, Bononia University Press.
- DÍAZ-ZORITA BONILLA M., ARANDA JIMÉNEZ G., BOCHERENS H., ESCUDERO CARRILLO J., SÁNCHEZ ROMERO M., LOZANO MEDINA Á., ALARCÓN GARCÍA E., MILESI GARCÍA L. (2019) – Multi-isotopic diet analysis of south-eastern Iberian megalithic populations: the cemeteries of El Barranquete and Panoría, *Archaeological and Anthropological Sciences*, 11, 8, p. 3681-3698.
- ESPARZA Á., PALOMO-DÍEZ S., VELASCO-VÁZQUEZ J., DELIBES G., ARROYO-PARDO E., SALAZAR-GARCÍA D.C. (2017) – Familiar Kinship? Palaeogenetic and Isotopic Evidence from a Triple Burial of the Cogotas I Archaeological Culture (Bronze Age, Iberian Peninsula), *Oxford Journal of Archaeology*, 36, 3, p. 223-242.
- FARESE M., SONCIN S., ROBB J., TAFURI M.A. (2024) – Prehistoric Italian foodways: Meta-analysis of stable isotope data from the Neolithic to the Iron Age, *Quaternary Science Reviews*, 345, p. 109056.
- FARQUHAR G.D., EHLENGER J.R., HUBICK K.T. (1989) – Carbon Isotope Discrimination and Photosynthesis, *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 40, 1, p. 503-537.
- FERNÁNDEZ-CRESPO T., MUJICA J.A., ORDOÑO J. (2016) – Aproximación al patrón alimentario de los inhumados en la cista de la Edad del Bronce de Ondarre (Aralar, Guipúzcoa) a través del análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno sobre colágeno óseo, *Trabajos de Prehistoria*, 73, 2, p. 325-334.
- FERNÁNDEZ-CRESPO T., ORDOÑO J., SCHULTING R.J. (2021) – Subsistence shift and socio-economic response to cultural and climate changes among north-central Iberian megalithic groups, *Journal of Archaeological Science*, 133, p. 105451.
- FILIPOVIĆ D., MEADOWS J., CORSO M.D., KIRLEIS W., ALSLEBEN A., AKERET Ö., BITTMANN F., BOSI G., CIUTĂ B., DRESLEROVÁ D., EFFENBERGER H., GYULAI F., HEISS A.G., HELLMUND M., JAHNS S., JAKOBITSCH T., KAPCIA M., KLOOSS S., KOHLER-SCHNEIDER M., KROLL H., MAKAROWICZ P., MARINOVA E., MÄRKLE T., MEDOVIĆ A., MERCURI A.M., MUELLER-BIENIEK A., NISBET R., PASHKEVICH G., PEREGO R., POKORNÝ P., POSPIESZNY Ł., PRZYBYŁA M., REED K., RENNWANZ J., STIKA H.-P., STOBBE A., TOLAR T., WASYLIKOWA K., WIETHOLD J., ZERL T. (2020) – New AMS ¹⁴C dates track the arrival and spread of broomcorn millet cultivation and agricultural change in prehistoric Europe, *Scientific Reports*, 10, 1, p. 13698.
- FIorentino G., CASTIGLIONI E., ROTTOLI M., NISBET R. (2004) – Le colture agricole in Italia nel corso dell'età del Bronzo: sintesi dei dati e linee di tendenza, in D. Cocchi Genick (dir.), *L'età del Bronzo Recente in Italia*, Viareggio, Baroni, p. 219-226.
- FOGEL M.L., TUROSS N., OWSLEY D.W. (1989) – Nitrogen isotope tracers of human lactation in modern and archaeological populations, *Annual Report of Geophysical Laboratory Carnegie Institution of Washington*, p. 111-117.
- FRASER R.A., BOGAARD A., HEATON T., 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, p. 2790-2804.
- FULLER B.T., FULLER J.L., SAGE N.E., HARRIS D.A., O'CONNELL T.C., HEDGES R.E.M. (2005) – Nitrogen balance and $\delta^{15}\text{N}$: why you're not what you eat during nutritional stress, *Rapid communications in mass spectrometry*, 19, 18, p. 2497-506.
- GARCÍA BORJA P., PÉREZ FERNÁNDEZ Á., BIOSCA CIRUJEDA V., RIBERA A., SALAZAR-GARCÍA D.C. (2013) – Los restos humanos de la Coveta del Frare: (La Font de la Figuera, València), in *El naixement d'un poble: història i arqueologia de La Font de la Figuera*, 2013, págs. 47-60, p. 47-60.
- GARCÍA SANJUÁN L., HUNT M., HURTADO V., MONDÉJAR P., ROMERO E. (1999) – La ocupación humana en la comarca de la Sierra durante la Edad del Bronce, in *Actas XII Jornadas del Patrimonio de la Comarca de la Sierra (Aracena, Huelva 1997)*, Aracena, p. 149-180.
- 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, p. 117-131.
- GOUDE G., REY L., TOULEMONDE F., CERVEL M., ROTTIER S. (2017) – Dietary changes and millet consumption in northern France at the end of Prehistory: Evidence from archaeobotanical and stable isotope data, *Environmental Archaeology*, 22, 3, p. 268-282.
- GRANDAL-D'ANGLADE A., ALBIZURI S., NIETO A., MAJÓ T., AGUSTÍ B., ALONSO N., ANTOLÍN F., LÓPEZ J.B., MOYA A., RODRÍGUEZ A., PALOMO A. (2019) – Dogs and foxes in Early-Middle Bronze Age funerary structures in the northeast of the Iberian Peninsula: human control of canid diet at the sites of Can Roqueta (Barcelona) and Minferri (Lleida), *Archaeological and Anthropological Sciences*, 11, 8, p. 3949-3978.
- HEDGES R.E.M., 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, p. 808-16.
- HEDGES R.E.M., REYNARD L.M. (2007) – Nitrogen isotopes and the trophic level of humans in archaeology, *Journal of Archaeological Science*, 34, 8, p. 1240-1251.

- HERRSCHER E., GOUDE G. (2017) – Impact des facteurs socio-culturels sur l'alimentation: confrontation des données isotopiques, biologiques et archéologiques, in R. Lisfranc et J. Vital (dir.), *La nécropole Bronze ancien de Gerzat, Chantemerle (Puy-de-Dôme)*, ALPARA, p. 394-406.
- HERRSCHER E., GOUDE G., LISFRANC R., FOREST V., VERMEULEN C. (2014) – Pratiques alimentaires au Bronze ancien en Auvergne: Essai de restitution par l'analyse isotopique, *Préhistoires Méditerranéennes*, 4, p. 2003.
- HERRSCHER E., GOUDE G., METZ L. (2017) – Longitudinal study of stable isotope compositions of maternal milk and implications for the palaeodiet of infants, *Bulletins et Mémoires de la Société d'anthropologie de Paris*, 29, p. 131-139.
- HERRSCHER E., VARALLI A. (2025) – La paléonutrition des populations de l'âge du Bronze en France. Apport des approches isotopiques, in *L'âge du Bronze en France (2500 à 800 avant notre ère) Synthèses thématiques*, Paris, CNRS Éditions/Inrap (coll. Recherches archéologiques, 29), p. 157-163.
- HEYD V. (2013) – Europe 2500 to 2200 BC: between expiring ideologies and emerging complexity, in H. Fokkens et A. Harding (dir.), *The Oxford Handbook of the European Bronze Age*, Oxford, Oxford University Press, p. 47-67.
- HONEGGER M. (1995) – Données récentes sur les nécropoles du Néolithique moyen I et du Bronze ancien de Barmaz I (Colombey-Muraz, Valais), in *Aspects culturels et religieux: témoignages et évolution de la préhistoire à l'an mil. Actes du 7^e colloque international sur les Alpes dans l'Antiquité (Châtillon, Vallée d'Aoste, 11-13 mars 1994)*, p. 53-66.
- HUNT H.V., CAMPANA M.G., LAWES M.C., PARK Y.-J., BOWER M.A., HOWE C.J., JONES M.K. (2011) – Genetic diversity and phylogeography of broomcorn millet (*Panicum miliaceum* L.) across Eurasia, *Molecular Ecology*, 20, 22, p. 4756-4771.
- HUNT H.V., VANDER LINDEN M., LIU X., MOTUZAITE-MATUZEVICIUTE G., COLLEDGE S., JONES M.K. (2008) – Millets across Eurasia: chronology and context of early records of the genera *Panicum* and *Setaria* from archaeological sites in the Old World, *Vegetation history and archaeobotany*, 17, Suppl 1, p. 5-18.
- JUNG R., PACCIARELLI M., ZACH B., KLEE M., THANHEISER U. (2015) – Punta di Zambrone (Calabria) – a Bronze Age Harbour Site. First Preliminary Report on the Recent Bronze Age (2011-2012 Campaigns), *Archaeologia Austriaca*, 1, p. 53-110.
- KATZENBERG M.A. (2008) – Katzenberg, M.A., 2008. Stable Isotope Analysis: A Tool of Studying Past Diet, Demography, and Life History, in M. Katzenberg et S. Saunders (dir.), *Biological Anthropology of the Human Skeleton*, Hoboken, NJ, John Wiley & Sons Inc., p. 413-441.
- KNEISEL J., DAL CORSO M., KIRLEIS W., TAYLOR N., TIEDTKE V. (2015) – The third food revolution? Common trends in economic and subsistence strategies in Bronze Age Europe, in J. Kneisel, M. Dal Corso, W. Kirleis, H. Scholz, N. Taylor, et V. Tiedtke (dir.), *The third food revolution? Setting the Bronze Age Table: Common trends in economic and subsistence strategies in Bronze age Europe*, Bonn, Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie, p. 257-286.
- KNIPPER C., MEYER C., JACOBI F., ROTH C., FECHER M., STEPHAN E., SCHATZ K., HANSEN L., POSLUSCHNY A., HÖPPNER B., MAUS M., PARE C.F.E., ALT K.W. (2014) – Social differentiation and land use at an Early Iron Age “princely seat”: bioarchaeological investigations at the Glauberg (Germany), *Journal of Archaeological Science*, 41, p. 818-835.
- KNIPPER C., RIHUETE-HERRADA C., VOLTAS J., HELD P., LULL V., MICÓ R., RISCH R., ALT K.W. (2020) – Reconstructing Bronze Age diets and farming strategies at the early Bronze Age sites of La Bastida and Gatas (southeast Iberia) using stable isotope analysis, *PLOS ONE*, 15, 3, p. e0229398.
- KRISTIANSEN K., LARSSON T.B. (2005) – *The rise of Bronze Age society: travels, transmissions and transformations*, Cambridge, Cambridge University Press.
- KRISTIANSEN K., SØRENSEN M.L.S. (2019) – Wool in the Bronze Age: Concluding Reflections, in S. Sabatini et S. Bergerbrant (dir.), *The Textile Revolution in Bronze Age Europe: Production, Specialisation, Consumption*, Cambridge, Cambridge University Press, p. 317-332.
- LE ROY M., MAGNIEZ P., GOUDE G. (2022) – Stable-isotope analysis of collective burial sites in Southern France at late Neolithic/early Bronze Age transition, *International Journal of Osteoarchaeology*, 32, 2, p. 396-407.
- LIGHTFOOT E., LIU X., JONES M.K. (2013) – Why move starchy cereals? A review of the isotopic evidence for prehistoric millet consumption across Eurasia, *World Archaeology*, 45, 4, p. 574-623.
- LIGHTFOOT E., ŠLAUS M., ŠIKANJIC P.R., O'CONNELL T.C. (2015) – Metals and millets: Bronze and Iron Age diet in inland and coastal Croatia seen through stable isotope analysis, *Archaeological and Anthropological Sciences*, 7, 3, p. 375-386.
- LILLIOS K.T., WATERMAN A.J., ARTZ J.A., JOSEPHS R.L. (2010) – The Neolithic-Early Bronze Age Mortuary Rockshelter of Bolores, Torres Vedras, Portugal, *Journal of Field Archaeology*, 35, 1, p. 19-39.
- LÓPEZ-COSTAS O., MÜLDNER G., MARTÍNEZ CORTIZAS A. (2015) – Diet and lifestyle in bronze age northwest Spain: The collective burial of Cova do Santo, *Journal of Archaeological Science*, 55, p. 209-218.
- LÓPEZ-SÁEZ J.A., ALBA-SÁNCHEZ F., PÉREZ-DÍAZ S., RUIZ S., NÁJERA COLINO T., MOLINA F. (2014) – Paleoambiente y sociedad en la Edad del Bronce de La Mancha: la Motilla del Azuer, *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada*, 24, p. 391-422.
- LU H., ZHANG J., LIU K., WU N., LI Y., ZHOU K., YE M., ZHANG T., ZHANG H., YANG X., SHEN L., XU D., LI Q. (2009) – Earliest domestication of common millet (*Panicum miliaceum*) in East Asia extended to 10,000 years ago, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106, 18, p. 7367-72.
- LULL V., MICÓ PÉREZ R., RIHUETE-HERRADA C., RISCH R. (2013) – Bronze Age Iberia, in *The Oxford Handbook of the European Bronze Age*, Oxford, Oxford University Press, p. 594-616.
- MANFRIN M.S., GILLIS R.E., POLISCA F., HOLT E., BREGLIA F., D'AQUINO S., LAMB A.L., MADGWICK R., MILLET M.-A.,

- NEDERBRAGT A.J., NICOSIA C., PIAZZALUNGA G., SHAW-ELEAZAR K., DAL CORSO M. (2026) – Hanging around or moving on up? Multi-proxy perspectives on Bronze Age sheep/goats herding practices in the north-eastern Po Plain (northern Italy), *Quaternary Science Reviews*, 382, p. 109961.
- MARIÉTHOZ F., DAVID-ELBIALI M., EADES S., GIROD F., GUÉLAT M., NORTHOVER P., PLISSON H., RYCHNER V., SIMON C., STUDER J. (2005) – Enquête autour d'un tumulus de l'âge du Bronze : Vufflens-la-Ville, En Sancy (VD, Suisse), *Cahiers d'archéologie romande*, 100.
- MASOTTI S., VARALLI A., GOUDE G., MOGGI-CECCHI J., GUALDI-RUSO E. (2019) – A combined analysis of dietary habits in the Bronze Age site of Ballabio (northern Italy), *Archaeological and Anthropological Sciences*, 11, 3, p. 1029-1047.
- MCCLURE S.B., GARCÍA O., ROCA DE TOGORES C., CULLETON B.J., KENNETT D.J. (2011) – Osteological and paleodietary investigation of burials from Cova de la Pastora, Alicante, Spain, *Journal of Archaeological Science*, 38, 2, p. 420-428.
- MEKOTA A.-M., GRUPE G., UFER S., CUNTZ U. (2006) – Serial analysis of stable nitrogen and carbon isotopes in hair: monitoring starvation and recovery phases of patients suffering from anorexia nervosa, *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 20, 10, p. 1604-1610.
- MERCURI A., MAZZANTI M.B., TORRI P., VIGLIOTTI L., BOSI G., FLORENZANO A., OLM I., N'SIALA I.M. (2012) – A marine/terrestrial integration for mid-late Holocene vegetation history and the development of the cultural landscape in the Po valley as a result of human impact and climate change, *Vegetation History and Archaeobotany*, 21, 4-5, p. 353-372.
- MERCURI A., MONTECCHI M.C., PELLACANI G., FLORENZANO A., RATTIGHIERI E., CARDARELLI A. (2015) – Environment, human impact and the role of trees on the Po plain during the Middle and Recent Bronze Age: Pollen evidence from the local influence of the terramare of Baggiovara and Casinalbo, *Review of Palaeobotany and Palynology*, 218, 1, p. 231-249.
- MERCURI A.M., ACCORSI C.A., BANDINI MAZZANTI M., BOSI G., CARDARELLI A., LABATE D., MARCHESINI M., TREVISAN GRANDI G. (2006) – Economy and environment of Bronze Age settlements - Terramaras - On the Po Plain (Northern Italy): First results from the archaeobotanical research at the Terramara di Montale, *Vegetation History and Archaeobotany*, 16, 1, p. 43-60.
- MERCURI A.M., ACCORSI C.A., BANDINI MAZZANTI M., BOSI G., TREVISAN GRANDI G., CARDARELLI A., LABATE D., OLM I., TORRI P. (2006) – Cereal Fields from the Middle-Recent Bronze Age as found in the terramara di Montale, in the Po plain (Emilia Romagna, Northern Italy), based on pollen, seeds/fruits and microcharcoals, in J.-P. Morel, J. J. Tresserras, J. C. Matamala (dir.), *The Archaeology of Crop fields and garden Archaeology*, Bari, Edilpuglia, p. 251-270.
- VAN DER MERWE N. (1982) – Carbon Isotopes, Photosynthesis, and Archaeology: Different pathways of photosynthesis cause characteristic changes in carbon isotope ratios that make possible the study of prehistoric human diets, *American Scientist*, p. 596-606.
- MILLER D. (2020) – *Stable carbon and nitrogen isotope analysis in Italy and Croatia: Bronze Age food practices across the Adriatic*, masterThesis, Universidade de Évora, <https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/27752>.
- MILLER N.F., SPENGLER R.N., FRACHETTI M. (2016) – Millet cultivation across Eurasia: Origins, spread, and the influence of seasonal climate, *The Holocene*, 26, p. 1566-1575.
- MINAGAWA M., WADA E. (1984) – Stepwise enrichment of $\delta^{15}\text{N}$ along food chains: Further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, 5, p. 1135-1140.
- MOLINA F., CÁMARA J.A., DELGADO A., JIMÉNEZ S., NÁJERA T., RIQUELME J.A., SPANEDDA L. (2016) – Problemas cronológicos y análisis de dieta en la Edad del Bronce de los Altiplanos granadinos : el caso del Cerro de la Virgen (Orce, Granada España), *Del neolítico a l'edat de bronze en el Mediterrani occidental: estudis en homenatge a Bernat Martí Oliver*, p. 451-463.
- MOLINA GONZÁLEZ F., CÁMARA SERRANO J.A. (2004) – *La Cultura del Argar en el área occidental del Sudeste*, Instituto Alicantino de Cultura Juan Gil-Albert.
- MOLINA-GONZÁLEZ F., NOCETE-CALVO F., DELGADO-HUERTAS A., CÁMARA-SERRANO J.A., MARTÍNEZ-SÁNCHEZ R.M., JIMÉNEZ-BROBÉIL S., MIRANDA-LEÓN M.T., RIQUELME-CANTAL J.A., SPANEDDA L., PÉREZ-BAREAS C., LIZCANO-PRESTEL R., NIETO-LIÑÁN J.M., NÁJERA-COLINO T., GRANADOS-TORRES A., CARRIÓN-MÉNDEZ F. (2019) – Diet and Environment in South-Eastern Iberia During the Bronze Age, Based on Isotope Analysis of Human Remains, *Oxford Journal of Archaeology*, 38, 2, p. 189-213.
- MORANDI L.F., FRÉMONDEAU D., MÜLDNER G., MAGGI R. (2021) – Sequential analyses of bovid tooth enamel and dentine collagen ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$): new insights into animal husbandry between the Late Neolithic and the Early Bronze Age at Tana del Barletta (Ligurian Prealps), *Archaeological and Anthropological Sciences*, 13, 9, p. 1-26.
- MORDANT C. (1989) – Transgression culturelle et mouvements de population aux XIV^e- XIII^e siècles avant notre ère dans le Bassin parisien, compétition culturelle et phénomène de lisière, in *Dynamique du Bronze moyen en Europe occidentale, Actes du Colloque de Strasbourg-Haguenau, 113^e Congrès national des Sociétés savantes Strasbourg 1988*, Paris, CTHS, p. 283-303.
- MORDANT C., PEAKE R., ROSCIO M. (2021) – Weighing equipment in Late Bronze Age graves in the Seine and Yonne valleys, in L. Rahmstorf, G. Barjamovic, et N. Jalongo (dir.), *Merchants, Measures and Money. Understanding technologies of early trade in a comparative perspective*, Proceedings of two Workshops funded by the European Research Council (ERC), p. 159-172.
- NÁJERA COLINO T., GONZÁLEZ F., JIMÉNEZ-BROBEIL S.A., SÁNCHEZ ROMERO M., OUMAOU A., JIMÉNEZ A., DELGADO HUERTAS A., LAFFRANCHI Z. (2010) – La población infantil de la Motilla del Azuer: Un estudio bioarqueológico, *Complutum*, 21, p. 69-102.
- NAVARRETE V., VACCARO I., ESCRIBÁ P., GRAU E., GARCÍA-PUCHOL O., AUBÁN J.B. (2025) – Isotopes, herds, and landscape management practices: New insights on early farming

- communities in the Serpis Valley (Eastern Iberian Peninsula), *PLOS ONE*, 20, 6, p. e0325137.
- NICOSIA C., CORSO M.D., D'AQUINO S., BALDAN M., BORTOLINI M., BATTISTEL D., POLISCA F. (2025) – Multiproxy analysis of stabling layers in four middle bronze age byre-houses from the site of Oppeano 4D (Verona, Italy), *PLOS ONE*, 20, 5, p. e0323724.
- O'LEARY M.H. (1988) – Carbon Isotopes in Photosynthesis: Fractionation techniques may reveal new aspects of carbon dynamics in plants, *BioScience*, 38, 5, p. 328-336.
- PEAKE R. (2020) – *Villiers-sur-Seine, un habitat aristocratique entre deux rives du 9^e siècle avant notre ère*, Paris, Inrap/CNRS Éditions (coll. Recherches archéologiques, 18).
- PEAKE R., DELATTRE V., LE GOFF I., BILLAND G. (2017) – Lecture des pratiques funéraires du Bronze moyen et du début du Bronze final dans le Centre-Nord de la France, in T. Lachenal, C. Mordant, T. Nicolas, et C. Véber (dir.), *Le Bronze moyen et l'origine du Bronze final en Europe occidentale, de la Méditerranée aux pays nordiques (XVII^e-XIII^e s. av. J.-C.)*, Actes du colloque international de Strasbourg, APRAB, 2014, Monographies d'Archéologie du Grand Est, p. 763-786.
- PEAKE R., ROSCIO M., ISSENMAN R., RQUIER V., SIMONIN D. (2017) – Le Bronze moyen et le début du Bronze final dans le sud du Bassin parisien, in *Le Bronze moyen et l'origine du Bronze final en Europe occidentale, de la Méditerranée aux pays nordiques (XVII^e-XIII^e s. av. J.-C.)*, actes du colloque international de Strasbourg, APRAB, 2014, Strasbourg, Monographies d'Archéologie du Grand Est, p. 193-214.
- PEREGO R. (2017) – *Contribution to the development of the Bronze Age plant economy in the surrounding of the Alps : an archaeobotanical case study of two Early and Middle Bronze Age sites in northern Italy (Lake Garda region) - edoc*, University of Basel, <https://edoc.unibas.ch/55656/>.
- PEREGO R., ROTTOLI M., CASTIGLIONI E. (2022) – Agricoltura e preferenze alimentari durante le età del Bronzo e del Ferro in Lombardia, *Rivista di scienze preistoriche*, LXXII, supplemento, p. 63-73.
- PEREGO R., ROTTOLI MAURO, CASTIGLIONI E. (2022) – Agricoltura e preferenze alimentari durante le età del Bronzo e del Ferro in Lombardia, *Rivista di scienze preistoriche*, LXXII, supplemento, p. 63-73.
- RAMOS-ROMÁN M.J., JIMÉNEZ-MORENO G., CAMUERA J., GARCÍA-ALIX A., ANDERSON R.S., JIMÉNEZ-ESPEJO F.J., CARRIÓN J.S. (2018) – Holocene climate aridification trend and human impact interrupted by millennial- and centennial-scale climate fluctuations from a new sedimentary record from Padul (Sierra Nevada, southern Iberian Peninsula), *Climate of the Past*, 14, 1, p. 117-137.
- RICHARDS M.P., HEDGES R. (1999) – Stable isotope evidence for similarities in the types marine food used by late mesolithic humans at sites along the Atlantic coast of Europe, *Journal of Archaeological Science*, 26, p. 712-722.
- RIEDEL A. (1992) – L'età del Bronzo in Italia nei secoli dal XVI al XIV A.C., *Rassegna di Archeologia*, 10, p. 173-175.
- ROMBONI M., ARIENZO I., DI VITO M.A., LUBRITTO C., PIOCHI M., DI CICCIO M.R., RICKARDS O., ROLFO M.F., SEVINK J., DE ANGELIS F., ALESSANDRI L. (2023) – La Sassa cave: Isotopic evidence for Copper Age and Bronze Age population dynamics in Central Italy M. Milella (dir.), *PLOS ONE*, 18, 7, p. e0288637.
- ROTTOLI M. (2001) – Analisi archeobotaniche: i macroresti vegetali, in P. Frontini (dir.), *Castellaro del Vho'. Campagne di scavo 1996-1999. Scavi delle Civiche Raccolte Archeologiche di Milano*, Milano, p. 175-195.
- ROTTOLI M. (2024) – Le specie vegetali alimentari nelle palafitte del lago di Garda e dell'a pianura veronese: uno sguardo d'insieme, in *Food and Wine in Ancient Verona-Cibo E Vino Nell a Verona Antica*, Roma, Quasar, p. 64-78.
- ROTTOLI M., CASTIGLIONI E. (2009) – Indagini sui resti vegetali macroscopici, in M. Bernabò Brea, M. Cremaschi (dir.), *Acqua e civiltà nelle Terramare : la vasca votiva di Noceto*, Milan, Skirà, p. 152-253.
- RUMOLO A., FORSTENPOINTNER G., RUMOLO P., JUNG R. (2020) – Palaeodiet reconstruction inferred by stable isotopes analysis of faunal and human remains at Bronze Age Punta di Zambrone (Calabria, Italy), *International Journal of Osteoarchaeology*, 30, 1, p. 90-98.
- SALAZAR GARCÍA D.C., ÁLVAREZ GARCÍA H.J., BENITO SÁNCHEZ M., BENÍTEZ DE LUGO ENRICH L. (2013) – Estudio diacrónico de la dieta de los pobladores antiguos de Terrinches (Ciudad Real) a partir del análisis de isótopos estables sobre restos óseos humanos, *Revista española de antropología física*, 34, p. 6-14.
- SALAZAR-GARCÍA D. (2017) – Estudio de la dieta en la población del Tossal del Mortórum mediante análisis de isótopos estables del carbono y del nitrógeno en colágeno óseo, in *Tossal del Mortórum. Un assentament de l'Edat del Bronze i del Ferro antic a la Ribera de Cabanes (Castelló)*, Gustau Aguilera Arzo, p. 189-195.
- SÁNCHEZ ROMERO M., ARANDA JIMÉNEZ G., ALARCÓN GARCÍA E. (2007) – Gender and age identities in rituals of comensality: the argaric societies, *Treballs d'Arqueologia*, p. 69-89.
- 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, p. 625-639.
- SCHWARCZ H.P. (1991) – Some theoretical aspects of isotope paleodiet studies, *Journal of Archaeological Science*, 18, p. 261-275.
- SEALY J., JOHNSON M., RICHARDS M., NEHLICH O. (2014) – Comparison of two methods of extracting bone collagen for stable carbon and nitrogen isotope analysis: comparing whole bone demineralization with gelatinization and ultra-filtration, *Journal of Archaeological Science*, 47, p. 64-69.
- SHERRATT A. (1981) – Plough and pastoralism: aspects of the secondary products evolution, in I. Hodder, G. Isaac et N. Hammond (dir.), *Pattern of the Past: Studies in honour of David Clarke*, Cambridge, Cambridge University Press, p. 261-305.
- SIGAUT F. (1995) – Les millets en Eurasie : d'une fête populaire à des questions pour les chercheurs, in *Millet – Hirse – Millet*, Frankfurt am Main, Peter Lang, p. 133-153.
- SKEATES R., BECKETT J., MANCINI D., CAVAZZUTI C., SILVESTRI L., HAMILTON W.D., SAYLE K.L., CROWDER K.D.,

- ROLFO M., ANGLE M. (2021) – Rethinking Collective Burial in Mediterranean Caves: Middle Bronze Age Grotta Regina Margherita, Central Italy, *Journal of Field Archaeology*, p. 1-17.
- SMITH B.N., EPSTEIN S. (1971) – Two categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios for higher plants, *Plant physiology*, 47, 3, p. 380-384.
- SOTIRIADOU T., TORNERO C., MALGOSA A., SUREDA P., JORDANA X. (2022) – Dietary reconstruction of the Bronze Age necropolis of Cova des Pas (Minorca Island): evidence from $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analyses, *Archaeological and Anthropological Sciences*, 15, 1, p. 11.
- STRYDONCK M., BOUDIN M., ERVYNCK A., ORVAY J., BORMS H. (2005) – Spatial and temporal variation of dietary habits during the prehistory of the Balearic Islands as reflected by ^{14}C , d^{15}N and d^{13}C , analysis on human and animal bones, *Mayurqa*, 30, 2, p. 523-542.
- SZPAK P. (2014) – Complexities of nitrogen isotope biogeochemistry in plant-soil systems: implications for the study of ancient agricultural and animal management practices, *Frontiers in plant science*, 5, p. 288.
- TAFURI M.A. (2003) – « *Marrying in and eating out* » : mobility, food and social dynamics in Bronze Age Southern Italy : trace element analysis at Sant'Abbondio (Pompeii, Naples), phd, University of Southampton <https://eprints.soton.ac.uk/465466/>.
- TAFURI M.A., CRAIG O.E., CANCI A. (2009) – Stable isotope evidence for the consumption of millet and other plants in Bronze Age Italy, *American Journal of Physical Anthropology*, 139, 2, p. 146-53.
- TAFURI M.A., ROTTOLI M., CUPITO M., PULCINI M.L., TASCA G., CARRARA N., BONFANTI F., SALZANI L., CANCI A. (2018) – Estimating C4 plant consumption in Bronze Age Northeastern Italy through stable carbon and nitrogen isotopes in bone collagen, *International Journal of Osteoarchaeology*, 28, 2, p. 131-142.
- TAUBER H. (1981) – ^{13}C evidence for dietary habits of prehistoric man in Denmark, *Nature*, 292, 5821, p. 332-333.
- TIESZEN L.L., FAGRE T. (1993) – Effect of diet quality and composition on the isotopic composition of respiratory CO_2 , bone collagen, bioapatite, and soft tissues, in J. B. Lambert et G. Grupe (dir.), *Prehistoric human bone. Archaeology at molecular level*, Berlin, Springer Verlag, p. 121-155.
- TOULEMONDE F. (2013) – *Économie végétale et pratiques agricoles au Bronze final et au premier âge du Fer, de la côte de l'Île-de-France à la côte de Champagne*, Thèse de doctorat, Université de Paris 1.
- TOULEMONDE F., AUXIETTE G., BOUBY L., GOUDE G., PEAKE R., FOREST V. (2018) – L'alimentation à l'âge du Bronze en France, in J. Guilaine et D. Garcia (dir.), *La Protohistoire de la France*, Paris, Hermann, p. 297-309.
- TOULEMONDE F., WIETHOLD J., BONNAIRE E., DAOULAS G., DERREUMAUX M., DURAND F., PRADAT B., ROUSSELET O., SCHAAL C., ZECH-MATTERNE V. (2022) – Millets in Bronze Age agriculture and food consumption in north-eastern France, in W. Kirleis, M. Dal Corso, et D. Filipović (dir.), *Millet and what else? The wider context of the adoption of millet cultivation in Europe*, Sidestone (coll. Scales of transformation in Prehistoric and Archaic Societies, 14), p. 155-184.
- TOULEMONDE F., ZECH-MATTERNE V., WIETHOLD J., BRUN C., MALRAIN F., RQUIER V. (2017) – Reconstitution des pratiques agricoles du I^{er} millénaire a.C. en France orientale, d'après le croisement des données carpologiques et archéologiques, in S. Marion, S. Deffressigne, J. Kaurin, et G. Bataille (dir.), *Production et proto-industrialisation aux âges du Fer. Perspectives sociales et environnementales*, Actes du 39^e colloque international de l'Association Française pour l'Étude de l'Âge du Fer (Nancy 14-17 mai 2015), p. 29-50.
- TSUTAYA T., YONEDA M. (2015) – Reconstruction of breastfeeding and weaning practices using stable isotope and trace element analyses: A review, *American Journal of Physical Anthropology*, 156, p. 2-21.
- VALSECCHI V., TINNER W., FINSINGER W., AMMANN B. (2006) – Human impact during the Bronze Age on the vegetation at Lago Lucone (northern Italy), *Vegetation History and Archaeobotany*, 15, p. 99-113.
- VARALLI A., DESIDERI J., DAVID-ELBIALI M., GOUDE G., HONEGGER M., BESSE M. (2021) – Bronze Age innovations and impact on human diet: A multi-isotopic and multi-proxy study of western Switzerland, *PLOS ONE*, 16, 1, p. e0245726.
- VARALLI A., GOUDE G., DEL LUCCHESI A. (2015) – Dal Neolitico all'Età del Ferro: indagine paleonutrizionale su alcune popolazioni della Liguria attraverso un approccio isotopico, *Archeologia in Liguria*, 5, p. 11-19.
- VARALLI A., MOGGI CECCHI J., DORI I., BOCCONE S., BORTOLUZZI S., SALZANI P., TAFURI M.A. (2016) – Dietary continuity vs. discontinuity in Bronze Age Italy. The isotopic evidence from Arano di Cellore (Illasi, Verona, Italy), *Journal of Archaeological Science: Reports*, 7, p. 104-113.
- VARALLI A., MOGGI CECCHI J., MORONI A., GOUDE G. (2016) – Dietary Variability During Bronze Age in Central Italy: First Results, *International Journal of Osteoarchaeology*, 26, 3, p. 431-446.
- VARALLI A., PEAKE R., AUXIETTE G., BALTER V., DELATRE V., GOUGE P., MORDANT C., ROSCIO M., TOULEMONDE F., ANDRÉ G., HERRSCHER E. (2023) – Insights into the frontier zone of Upper Seine Valley (France) during the Bronze Age through subsistence strategies and dietary patterns, *Archaeological and Anthropological Sciences*, 15, 3, p. 1-28.
- VARALLI, MOGGI-CECCHI J., GOUDE G. (2022) – A multi-proxy bioarchaeological approach reveals new trends in Bronze Age diet in Italy, *Scientific Reports*, 12, 1, p. 1-20.
- VIÑAS-CARON L.C., AGUILERA I., JAKOB T., WALSER J.W., SPINDLER L., FONTANALS-COLL M., ALEXANDER M. (2022) – Human and animal subsistence in northern Iberia during the Late Chalcolithic-Bronze Age: biomolecular insights from Muela de Borja, Ebro Valley, *Archaeological and Anthropological Sciences*, 14, 6, p. 105.
- VINCENTI G., GUGLIELMINO R., PANETTA D., SALVADORI P.A., REITSEMA L., KRIGBAUM J., REINBERGER K.L., MELICA D., LETTIERI M., MASIERI M., FABBRI P.F. (2024) – Violent death of a warrior in the destruction of Roca Vecchia, Apulia, Italy: Insights on hostilities and Aegean connections in the Bronze Age, *Journal of Archaeological Science*, 168, p. 106009.

VOGEL J.C. (1978) – Isotopic assessment of the dietary habits of ungulates, *South African Journal of Science*, 74, 8, p. 298-301.

WANG T., WEI D., CHANG X., YU Z., ZHANG X., WANG C., HU Y., FULLER B.T. (2019) – Tianshanbeilu and the Isotopic Millet Road: reviewing the late Neolithic/Bronze Age radiation of human millet consumption from north China to Europe, *National Science Review*, 6, 5, p. 1024-1039.

YU H., VAN DE LOOSDRECHT M.S., MANNINO M.A., TALAMO S., ROHRLACH A.B., CHILDEBAYEVA A., VIL-LALBA-MOUCO V., ARON F., BRANDT G., BURRI M., FREUND C., RADZEVICIUTE R., STAHL R., WISSGOTT A., FEWLASS H., TAGLIACCOZZO A., PIPERNO M., TUSA S., COLLINA C., SCHIMMENTI V., DI SALVO R., PRÜFER K., POSTH C., HUBLIN J.-J., GRONENBORN D., BINDER D., JEONG C., HAAK W., KRAUSE J. (2022) – Genomic and dietary discontinuities during the Mesolithic and Neolithic in Sicily, *iScience*, 25, 5, p. 104244.

ZECH-MATTERNE V., BRUN C. (2016) – Vers une agriculture extensive ? Etude diachronique des productions végétales et des flores adventices associées, durant la période laténienne, en France septentrionale, *Revue archéologique de Picardie*, RAP n° spécial 30.

Alessandra VARALLI
LAMPEA, CNRS, Aix-Marseille Université
Ministère de la Culture, Inrap
Aix-en-Provence, France
alessandra.varalli@univ-amu.fr

Traduction en anglais :

Jill CUCCHI

Révision finale :

Alessandra VARALLI