

Une approche multidisciplinaire pour l'étude de l'exploitation du lait dans le passé

A multi-disciplinary approach for the investigation of milk exploitation in the past

Mélanie ROFFET-SALQUE

Résumé : Le processus de néolithisation est caractérisé par une transition vers des économies alimentaires durables. Parmi les nouvelles denrées alimentaires introduites avec la domestication des plantes et des animaux, le lait et les produits laitiers ont eu l'impact le plus notable sur la biologie humaine : aujourd'hui, 35 % de la population adulte mondiale peut digérer le lactose, le sucre du lait. Le développement de l'élevage laitier au cours de la Préhistoire a posé les fondations de l'industrie laitière moderne, avec 1,5 milliard de bovins utilisés comme principale source de lait. L'utilisation du lait animal par les humains témoigne aussi des relations étroites et de la proximité physique entre les humains et les animaux domestiques, certains chercheurs suggérant même que la production laitière a pu être l'un des moteurs de la domestication. Plusieurs méthodes ont été développées pour évaluer la production, l'utilisation et la consommation du lait durant la Préhistoire, offrant plusieurs pistes d'investigation pour étudier les tendances géographiques et diachroniques de l'exploitation du lait dans le passé. Fondées sur les restes fauniques, les tessons de poterie et les restes humains, ces méthodes, très complémentaires, apportent de précieux éclairages sur les régimes alimentaires du passé et l'introduction de cette nouvelle ressource dans l'alimentation humaine.

Mots-clés : produits laitiers, Préhistoire, poterie, lipides, protéines, archéozoologie, ossements humains, génétique, archéologie biomoléculaire.

Abstract: The Neolithisation process is characterised by a shift to permanent food-producing economies. Of the new foodstuffs introduced with animal and plant domestication, milk and dairy products had the most notable impact on human biology, with 35% of the global adult population now being able to digest lactose, the milk sugar. The development of dairying in prehistory laid the foundations for the modern global dairy industry with 1.5 billion cattle used as the principal milk source. The use of animal milk by humans is also testimony to the strong relationships and physical proximity of humans and domesticates, with some researchers arguing that milk production was one of the drivers for domestication. Various methods have been developed to assess prehistoric milk production, milk use and milk consumption, offering multiple avenues of investigation to study geographical and diachronic trends in milk exploitation in the past. Based on faunal remains, pottery sherds and human remains, these methods are highly complementary and offer precious insights into past diets and the introduction of this new food into the human diet.

Keywords: dairy products, Prehistory, pottery, lipids, proteins, archaeozoology, human skeletal remains, genetics, biomolecular archaeology.

Le lait et les produits laitiers font partie de l'alimentation de milliards de personnes à travers le globe, avec une production laitière mondiale prévue pour croître à un rythme de 1,7 % par an dans les années à venir, plus rapidement que toute autre denrée agricole. Le lait est transformé en de nombreux produits laitiers, augmentant sa durée de conservation (lait en poudre, yaourt, fromage) ou réduisant sa teneur en matières grasses (lait écrémé). Les bovins produisent la majorité du lait à l'échelle mondiale (81 %), suivis des buffles (15 %) et des ovins, caprins et camélidés (4 % combinés ; OCDE/FAO, 2019). La traite des animaux n'est pas un acte anodin : elle nécessite une proximité étroite entre le trayeur et l'animal, ainsi qu'une relation de confiance mutuelle (Porcher et Schmitt, 2012 ; Roffet-Salque *et al.*, 2018). Elle n'est possible qu'avec des animaux apprivoisés ou domestiqués. La domestication des bovins, ovins et caprins pendant le Néolithique pré-céramique B (PPNB) moyen, il y a environ 11 000 ans, a offert aux humains l'opportunité d'accéder au lait des ruminants. Certains chercheurs ont même émis l'hypothèse que la domestication aurait pu être motivée par l'accès au lait animal, notamment face au rôle que continuait à jouer la chasse, fournissant des quantités significatives de viande pendant près d'un millénaire après l'avènement de la domestication (Vigne et Helmer, 2007). Le lait animal a eu un impact majeur sur les populations humaines. Aujourd'hui, environ 35 % de la population adulte mondiale peut digérer le lactose (Itan *et al.*, 2010) en maintenant la production de lactase intestinale après le sevrage. Ce trait génétique a été fortement sélectionné au cours des 10 000 dernières années. L'étude des indices archéologiques de la production, de l'utilisation et de la consommation du lait est donc essentielle pour comprendre cette évolution (fig. 1).

L'étude archéozoologique des restes fauniques, en permettant la détermination du sexe des individus, la construction de profils d'abattage ou l'étude de la saisonnalité des naissances, ont éclairé les pratiques d'élevage, notamment liées à la gestion des bovins et des petits ruminants (ovins et caprins) pour la production laitière destinée à la consommation humaine. En complément, l'appréhension des volumes et morphologies des récipients en poterie associés à la manipulation de liquides, couplée à l'analyse des résidus chimiques (lipides et protéines) conservés dans les parois des vases en céramique, permettent d'inférer le rôle de ces récipients dans le traitement du lait, offrant parfois des indices sur la nature spécifique des produits laitiers concernés, comme le fromage (Salque *et al.*, 2013) ou le beurre (Berstan *et al.*, 2004 ; Smyth *et al.*, 2019). Tandis que l'analyse de l'ADN ancien (en anglais aDNA) des restes humains fournit des informations sur la persistance de la lactase (LP), la possibilité de détecter la consommation de lait à partir des restes humains via l'analyse du tartre dentaire ou de la composition isotopique du calcium osseux, ouvre, depuis peu, de nouvelles perspectives de recherche. L'analyse des restes fauniques, humains et céramiques a ainsi été cruciale pour étudier l'exploitation du lait dans le passé et, utilisés conjointement, ces sources archéologiques offrent une vision nuancée de cette pratique.

Milk and dairy products are part of the diet of billions of people across the world, with global milk production expected to grow at 1.7% p.a. in the coming years, faster than any other agricultural commodity. Milk is transformed into numerous dairy products, increasing shelf-life (e.g. powdered milk, yogurt or cheese) or reducing fat content (e.g. skimmed milk). Cattle is the animal that produces most of the milk globally (81%), followed by buffalo (15%) and sheep, goats and camel (4% when combined; OECD/FAO, 2019). Milking an animal is not trivial. It necessitates a close proximity between the milker and the animal, with a strong relationship of mutual trust (Porcher and Schmitt, 2012; Roffet-Salque *et al.*, 2018). Milking is only possible with tamed or domesticated animals. The domestication of cattle/sheep/goats during the Middle Pre-Pottery Neolithic B (MPPNB) around 11k years ago provided the opportunity for humans to access ruminant milk. It has been hypothesised that domestication may have even been motivated by the access to animal milk, mainly because hunting appeared to continue to provide significant amounts of meat products for a millennium after domestication (Vigne and Helmer, 2007). Animal milk has had a major impact on human populations. Nowadays, around 35% of the global adult population are able to digest lactose (Itan *et al.*, 2010), by not downregulating the production of intestinal lactase after weaning. This genetic trait has been strongly selected for in the last 10k years. Investigating milk exploitation trajectories through prehistory rests on archaeological evidence of milk production, use and consumption (Fig. 1).

The study of faunal remains using archaeozoological methods, such as sexing skeletal remains, constructing kill-off profiles or studying birth seasonality, have shed light on herding practices, notably the keeping of cattle and small ruminants (sheep and goats) for milk production for human consumption. In addition to pottery vessel volumes and morphologies that can be related to liquid handling, sherds also contain chemical residues of the foodstuffs processed in ceramic cooking vessels. The analysis of remnant of lipids (fats) and proteins in clay fabric is used to infer whether milk had been processed in clay vessels, and sometimes offering the opportunity to gain a glimpse of specific dairy products, e.g. cheese (Salque *et al.*, 2013) or butter (Berstan *et al.*, 2004; Smyth *et al.*, 2019). While ancient DNA (aDNA) analysis of human skeletal remains provides information about their Lactase Persistence (LP) status; more recently, the possibility of detecting milk *consumption* using human skeletal remains using dental calculus or skeletal calcium composition is opening new avenues of investigation. Faunal and human remains, along with pottery, have therefore been crucial in studying milk exploitation in the past, and have been used in conjunction to offer a nuanced picture of milk exploitation.

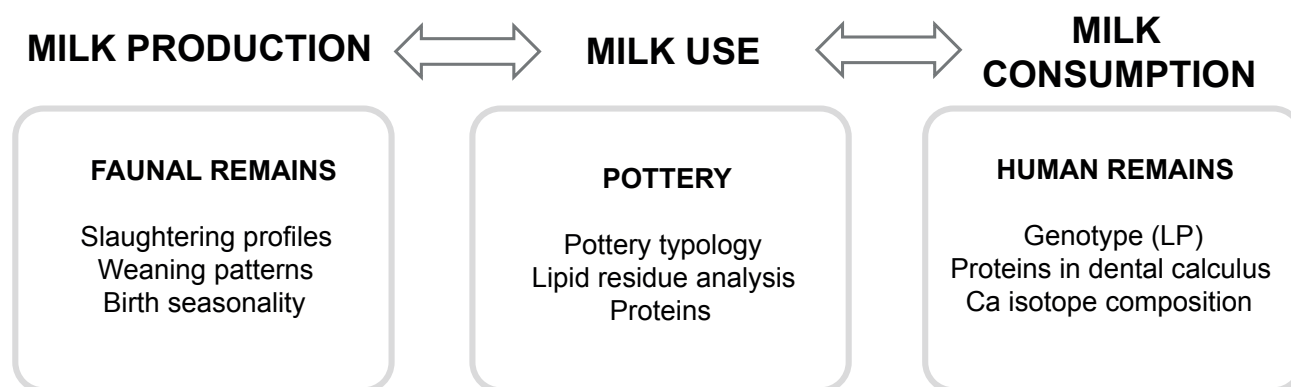


Fig. 1 – Principaux vestiges et méthodes utilisés pour étudier l'exploitation laitière dans le passé.

Fig. 1 – Main artefacts and methods used to investigate milk exploitation in the past.

IDENTIFIER LA PRODUCTION LAIITIÈRE À PARTIR DES ÉTUDES ARCHÉOZOOLOGIQUES

Les profils d'abattage : apports des pratiques modernes

L'âge d'abattage des animaux domestiques par les populations humaines dépend de la valeur relative accordée aux différents produits qui peuvent en être tirés (viande, lait, etc.), les classes d'âge variant en effet selon les usages. Les stratégies d'élevage reflètent généralement une économie de subsistance, en accord avec les caractéristiques des troupeaux et les facteurs environnementaux – tels que la disponibilité des pâturages et de l'alimentation – et au sein de laquelle plusieurs produits sont exploités (Ducos, 1968 ; Payne, 1973). Dans la mesure où le profil d'âge des animaux identifiés sur un site archéologique reflète les stratégies d'élevage, la reconstruction des profils d'abattage pour des espèces spécifiques permet aux archéozoologues d'en restituer les pratiques. L'âge au moment de la mort est enregistré par les stades d'éruption, de remplacement et d'usure des dents sur les mandibules (Payne, 1973 ; Vigne et Helmer, 2007 ; Gillis *et al.*, 2019).

En étudiant des troupeaux modernes de moutons en Turquie, Payne (1973) a démontré que la production de viande impliquait l'abattage de jeunes mâles et subadultes, tandis que la production laitière spécialisée se caractérisait par l'abattage de la moitié des très jeunes agneaux (avant l'âge de deux mois). Les mâles et femelles adultes étaient de leur côté abattus en masse pour la production de laine. Ultérieurement, J.-D. Vigne et D. Helmer (2007) ont proposé deux modèles supplémentaires, l'un d'entre eux montrant une production laitière sans abattage des jeunes.

La stratégie d'exploitation du lait diffère entre ovins/caprins et bovins compte tenu des différences existant dans leur physiologie de lactation. En effet, alors que la proportion de lait cisternal (directement accessible par tétée ou traite) est d'environ 75 % chez les chèvres et 40 à 75 % chez les brebis, elle n'est que de 20 % chez les vaches. La seconde fraction du lait, le lait alvéolaire (plus gras), n'est accessible qu'après la libération de

INFERRING MILK PRODUCTION USING ARCHAEZOOLOGICAL STUDIES

Slaughtering profiles: insights from modern practices

The age at which domestic animals are slaughtered by human populations depends on the relative value placed on the different products that can be obtained from them (meat, milk etc), as different age classes are needed for different purposes. Naturally, herding strategies usually show a subsistence economy, in agreement with the characteristics of the stock and environmental factors, such as the availability of grazing and feed, and where more than a single product is exploited (Ducos, 1968; Payne, 1973). Given that the age profile of animals identified at an archaeological site reflects herding strategies, the reconstruction of kill-off patterns for specific species allows archaeozoologists to gain insights into these practices. The age at death of an animal is recorded through the stages of eruption, replacement and wear of teeth on mandibles (Payne, 1973; Vigne and Helmer, 2007; Gillis *et al.*, 2019).

By studying modern sheep herds in Turkey, Payne (1973) demonstrated that meat production involved the slaughtering of young and sub-adult males, while specialised milk production was characterised by the slaughtering of half of the very young lambs (before the age of two months). Both old adult males and females were killed *en masse* for wool production. Later, Vigne and Helmer (2007) added two more models, including one reflecting milk production without the slaughtering of very young offsprings.

The strategy for the exploitation of milk is different for sheep/goats and cattle due to differences in their respective lactation physiologies. In fact, while the proportion of cisternal milk, directly accessible by suckling or milking, is around 75% in goats, and 40 to 75% in ewes, it is as low as 20% in cows. The second fraction of the milk, the fatter alveolar milk, is only accessible after the release of the hormone oxytocin, initiated by visual, auditory contacts as well as the suckling and butting action of the young. Failure to initiate the milk ejection

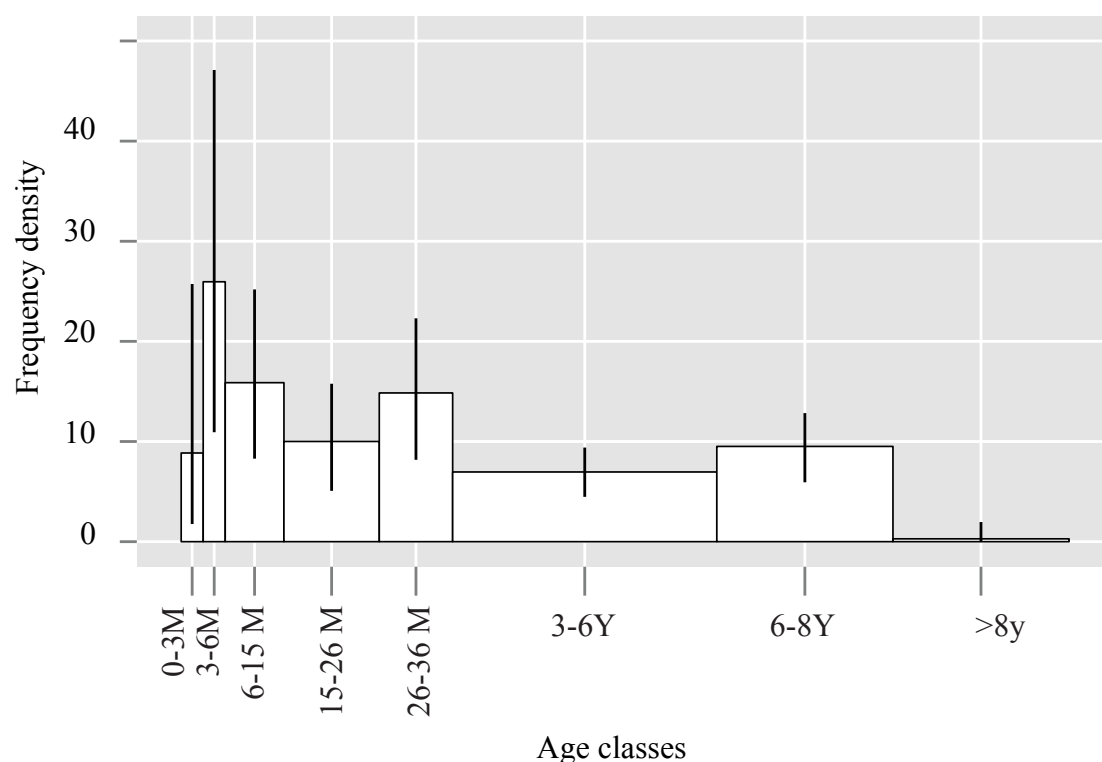


Fig. 2 – Profils d'abattage de bovins provenant d'un site LBK (Ludwinowo, phase III, n = 83 dents) indiquant une production laitière (abat-tage des femelles adultes à la fin de leur vie productive et élevage des veaux jusqu'à la fin de leur première année afin de permettre la production de lait). D'après Smyth *et al.* (2023).

Fig. 2 – Kill-off profiles for cattle from an LBK site (Ludwinowo, phase III, n = 83 teeth) showing evidence of milk production (slaughtering of mature females at the end of their productive life, and calves kept alive up until the end of their first year to allow for milk let-down). After Smyth *et al.* (2023).

l'ocytocine, déclenchée par des contacts visuels, auditifs, ainsi que les mouvements de tétée et les coups de tête des petits. L'absence d'initiation du réflexe d'éjection du lait entraîne la perte du lait alvéolaire, extrêmement abondant chez les vaches (80 %) par rapport aux petits ruminants (25 à 60 %). De plus, la stagnation du lait alvéolaire chez les bovins provoque *in fine* l'arrêt de la sécrétion lactée, alors que les conséquences sont plus limitées chez les petits ruminants (Balasse, 2003). De nos jours, la présence du veau reste indispensable pour les races traditionnelles peu sélectionnées d'Europe, d'Asie, d'Afrique et d'Amérique du Sud (Balasse *et al.*, 2000). Toutefois, dans le cas des races laitières modernes, le réflexe d'éjection du lait n'est plus conditionné par la présence du jeune, mais par la routine de traite, incluant la distribution de nourriture, de l'eau ainsi que le son des seaux ou des machines à traire (Labussière, 1999). Au cours de la Préhistoire, l'exploitation du lait de vache a parfois dû être compromise par la mort (naturelle ou délibérée) du veau, à moins que d'autres stratégies n'aient été mises en place.

Les profils d'âge d'abattage dans les sites archéologiques

Les études archéozoologiques et la restitution de profils d'abattage pour les animaux domestiques permettent de détecter des stratégies d'élevage orientées vers le lait chez les ovins/caprins et les bovins, avec une spécificité

reflex leads to the loss of the alveolar milk, extremely abundant in cows (80%) compared to small stock (25 to 60%). Furthermore, the stagnation of alveolar milk in cattle eventually provokes the cessation of milk secretion, whereas the consequences are more limited in small ruminants (Balasse, 2003). Nowadays, the presence of the calf remains essential in traditional poorly improved breeds in Europe, Asia, Africa and South America (Balasse *et al.*, 2000). Nevertheless, in modern dairy breeds, the milk ejection reflex is no longer conditioned by the presence of the offspring, but by the milking routine, including the distribution of food, drinking, sound of buckets or of milking machine (Labussière, 1999). In Prehistory, the exploitation of cow's milk must have been compromised by the (natural or deliberate) death of the calf, unless other strategies were used.

Age-at-death profiles at archaeological sites

Archaeozoological studies and the construction of kill-off patterns for domesticates allow the detection of milk-oriented herding strategies in sheep/goats and cattle, with species specificity (Fig. 2). Recent developments in the study of age-at-death profiles have involved the use of robust statistical approaches for the representation and comparison of profiles (Gerbaulet *et al.*, 2016; Timpson *et al.*, 2018). These approaches provide a robust framework for the study of management practices using

selon les espèces (fig. 2). Les développements récents dans l'étude des profils d'âge à l'abattage ont impliqué l'utilisation d'approches statistiques robustes pour la représentation et la comparaison des profils (Gerbault *et al.*, 2016 ; Timpson *et al.*, 2018). Ces approches fournissent un cadre solide pour l'étude des pratiques de gestion. Pour les bovins, le pic d'abattage entre 6 et 12 mois correspond à un pic post-lactation, c'est-à-dire à l'abattage des veaux après le sevrage. Par exemple, sur le site Néolithique moyen de Bercy (Chasséen, début du 4^e millénaire), le collagène de la dentine montre une diminution des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ (composition isotopique stable de l'azote) au fil du temps, impliquant un changement dans le régime alimentaire du veau, passant d'un régime à niveau trophique élevé (lait de la mère) à un niveau trophique plus bas (herbe), ainsi qu'un sevrage précoce par rapport à un veau moderne (Balasse *et al.*, 1997 ; Tresset, 1997 ; Balasse *et al.*, 2000 ; Balasse et Tresset, 2002). En complément de la mise en évidence de l'abattage des bovins réformés, ce pic d'abattage post-lactation a démontré l'exploitation laitière à Bercy. Dans certaines études, la distinction entre les dents inférieures des ovins et des caprins (Helmer, 2000 ; Halstead *et al.*, 2002 ; Gillis *et al.*, 2011) a permis de distinguer différentes stratégies d'élevage des chèvres et des moutons (Helmer et Vigne, 2004 ; Greenfield, 2005 ; Helmer *et al.*, 2005 ; Gillis *et al.*, 2019).

Saisonnalité des naissances

La disponibilité du lait est étroitement liée à la naissance des jeunes. La détermination de la saison de naissance est donc cruciale pour comprendre les économies pastorales (Balasse *et al.*, 2015). La détermination de la saison de naissance dans les enregistrements archéologiques repose sur la variation saisonnière de la composition isotopique stable de l'oxygène ($\delta^{18}\text{O}$) des précipitations (Dansgaard, 1964 ; Gat, 1996). Ce signal isotopique est lié à celui de l'eau de boisson et des plantes ingérées par les animaux, puis à la bioapatite de l'émail minéralisée pendant la croissance des dents (Longinelli, 1984 ; Luz *et al.*, 1984). Les travaux de M. Balasse ont été déterminants pour construire des jeux de données de référence permettant l'interprétation des signaux isotopiques de l'oxygène dans l'émail dentaire de moutons et de bovins (Blaise et Balasse, 2011 ; Balasse *et al.*, 2012 ; Balasse *et al.*, 2015 ; Balasse *et al.*, 2020 ; Balasse *et al.*, 2024). En utilisant des animaux dont la saison de naissance est connue (par ex. fin d'hiver-printemps et automne pour les moutons), des échantillons d'émail sont prélevés de manière séquentielle le long des molaires afin de déterminer les valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ et mettre en évidence, sur cette base, un cycle saisonnier. Ces séquences sont ensuite comparées à celles des dents animales archéologiques afin de déterminer la saison de naissance, le rythme du développement dentaire étant fixe au sein de chaque espèce (fig. 3). Cette méthode a été utilisée avec succès sur des troupeaux domestiques à travers la Préhistoire (voir respectivement Balasse *et al.*, 2020 et Balasse *et al.*, 2021 pour une synthèse sur les moutons et les bovins).

age-at-death datasets. For cattle, the slaughtering peak between 6 and 12 months was shown to correspond to a post-lactation peak, that is to say the slaughtering of calves after weaning. Indeed, at the Middle Neolithic site of Bercy (Chasséen, beginning of the 4th millennium), collagen from dentine shows a decrease in the $\delta^{15}\text{N}$ values through time implying a change in the diet of the calf from a high trophic level diet (milk from its mother) to a lower trophic level (grass); and early weaning compared to a modern calf (Balasse *et al.*, 1997; Tresset, 1997; Balasse *et al.*, 2000; Balasse and Tresset, 2002). In addition to the slaughtering of retired cattle, this post-lactation peak demonstrated the milk exploitation milk at Bercy. In some studies, the difference between sheep and goats lower cheek teeth (Helmer, 2000; Halstead *et al.*, 2002; Gillis *et al.*, 2011) has allowed the different strategies used to raise goats and sheep to be distinguished (Helmer and Vigne, 2004; Greenfield, 2005; Helmer *et al.*, 2005; Gillis *et al.*, 2019).

Birth seasonality

Milk availability is tightly linked to the birth of the offspring. Determining birth seasonality is thus crucial in understanding pastoral economies (Balasse *et al.*, 2015). The determination of birth season in the archaeological record relies on the seasonal variation of the stable oxygen (O) isotope composition ($\delta^{18}\text{O}$ values) of precipitation (Dansgaard, 1964; Gat, 1996). This isotope signal is linked to that of drinking water and plants ingested by animals, and then in turn to enamel bioapatite mineralised during tooth growth (Longinelli, 1984; Luz *et al.*, 1984). The work of Balasse has been pivotal in building reference datasets for the interpretation of O isotope signals in sheep and cattle teeth enamel (Blaise and Balasse, 2011; Balasse *et al.*, 2012; Balasse *et al.*, 2015; Balasse *et al.*, 2020; Balasse *et al.*, 2024). Using animals of known birth season (e.g. late winter/spring and autumn for sheep), enamel is sequentially sampled along molars and $\delta^{18}\text{O}$ values determined to retrieve a seasonal cycle. Those sequences are then compared to that of archaeological animal teeth, to determine the birth season given the fixed timing of tooth development within species (Fig. 3). This method has been used successfully on domesticated herds across Prehistory (Balasse *et al.*, 2020; Balasse *et al.*, 2021 for reviews on sheep and cattle, respectively).

Advantages and limitations

Archaeozoological analyses, particularly reconstructing kill-off profiles is a powerful tool for detecting milking strategies in archaeological populations. The information gained is species-specific, offering insights into herding practices and human-animal relationships in the past. Archaeozoological studies show that most communities began to exploit milk as soon as domesticates were introduced between 9,000 and 7,000 years ago (Vigne and Helmer, 2007; Debono Spiteri *et al.*, 2016). The determination of birth seasonality offers a crucial

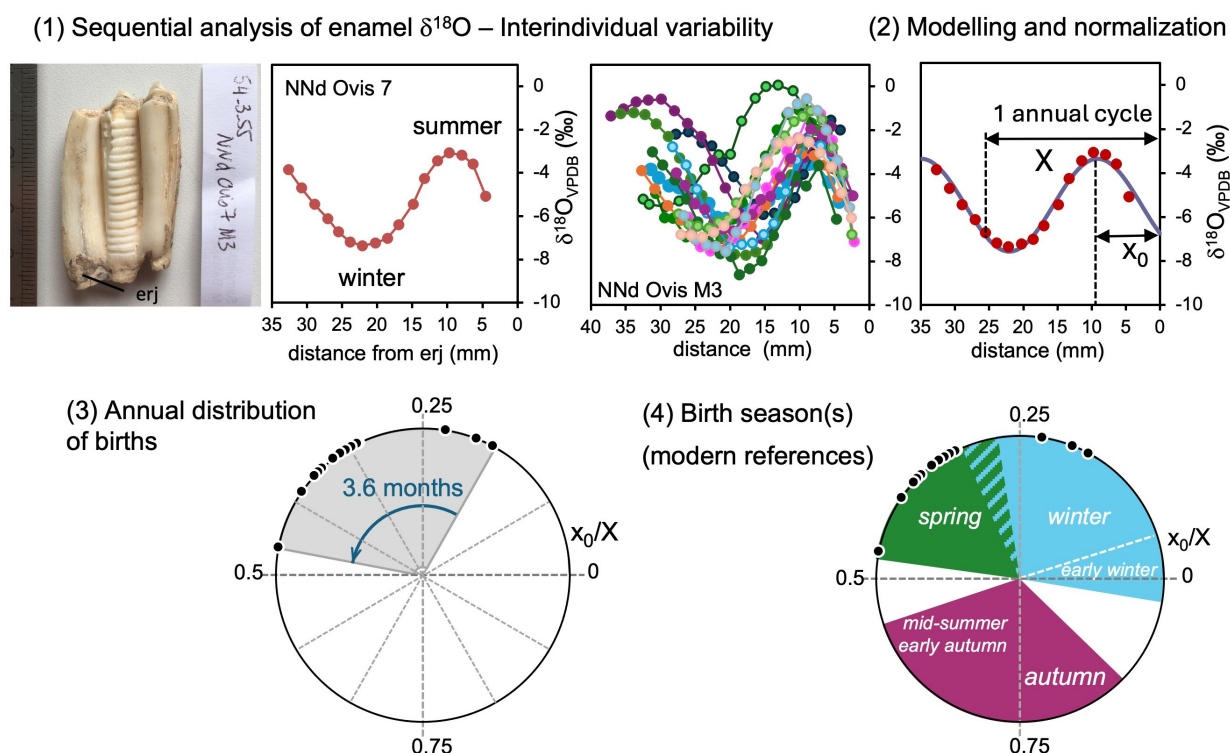


Fig. 3 – Étapes méthodologiques pour la détermination de la saisonnalité des naissances chez les ovins, à partir de l'exemple de Nova Nadezhda (Bulgarie, 6^e millénaire ; Balasse *et al.*, 2020). Données de référence modernes issues de : Blaise, Balasse (2011) ; Balasse *et al.* (2012) ; Balasse *et al.* (2020) ; Balasse *et al.* (2024) ; Tornero *et al.* (2018) ; Fabre *et al.* (2023). D'après Chemineau *et al.* (2025). Figure reproduite avec l'aimable autorisation de la Société d'ethnozootechnie.

Fig. 3 – Methodological steps in the determination of sheep birthing seasonality, using the example of Nova Nadezhda (Bulgaria, 6th millennium; Balasse *et al.*, 2020). Modern reference datasets: Blaise, Balasse (2011); Balasse *et al.* (2012); Balasse *et al.* (2020); Balasse *et al.* (2024) ; Tornero *et al.* (2018); Fabre *et al.* (2023). After Chemineau *et al.* (2025). Figure reproduced with the kind permission of the Société d'ethnozootechnie.

Avantages et limitations

L'analyse archéozoologique, en particulier la restitution des profils d'abattage, est un outil puissant pour détecter les stratégies de traite dans les populations archéologiques. Les informations obtenues sont spécifiques aux espèces, offrant des éclairages sur les pratiques d'élevage et les relations homme-animal dans le passé. Les données archéozoologiques montrent que la plupart des communautés ont commencé à exploiter le lait dès l'introduction des animaux domestiques, soit entre 9 000 et 7 000 ans (Vigne et Helmer, 2007 ; Debono Spiteri *et al.*, 2016). La détermination de la saisonnalité des naissances offre un aperçu remarquable des stratégies d'élevage et permet une restitution inédite de la disponibilité du lait au fil des saisons (Balasse *et al.*, 2017b ; Balasse *et al.*, 2021). Cependant, l'absence, la rareté ou la fragmentation extrême des assemblages osseux néolithiques limitent les opportunités d'identification des restes fauniques et, ce faisant, empêche l'établissement des profils d'abattage et, avec elle, la détermination des stratégies d'élevage. Les profils d'abattage restitués peuvent également représenter une moyenne de différentes stratégies d'élevage pratiquées au fil du temps, chaque assemblage osseux pouvant correspondre à une longue période d'accumulation. De plus, dans les cas où

window on herding strategies, and a hitherto unattainable glimpse into milk availability throughout the seasons (Balasse *et al.*, 2017; Balasse *et al.*, 2021). However, the absence, scarcity or extreme fragmentation of Neolithic animal bone assemblages limit opportunities for the identification of animal remains and the construction of kill-off patterns, hence, limiting the determination of herding strategies. Reconstructed kill-off patterns may be an average of different herding strategies being practiced through time as a bone assemblage can correspond to a long period of time. Furthermore, in the cases where domesticate and wild taxa (e.g. *Bos primigenius* and *Bos taurus*) are difficult to distinguish, kill-off patterns are reconstructed using (partly) a composite of the two, which may bias interpretations. Lastly, in the case of cattle, the use of strategies involving the deliberate slaughtering of the calf while maintaining a continuous supply of milk can hinder the detection of a milking signal. For example, these included using a dummy calf, made with the skin of the dead calf; using a calf from another cow; or blowing air onto the cow's vagina (insufflation), using one's hands, a shell or a small tube (Amoroso and Jewell, 1963; Le Quellec, 2010). African rock art depicts milking scenes with the presence of the calf and scenes of insufflation (Balasse *et al.*, 2000; Le Quellec, 2010). Archaeozoological analyses remain an extremely power-

les taxons domestiques et sauvages (ex. *Bos primigenius* et *Bos taurus*) sont difficiles à distinguer, les profils d'abattage sont potentiellement en partie reconstruits à partir d'un mélange de ces deux composantes, biaisant les interprétations. Enfin, dans le cas des bovins, la mise en œuvre de stratégies impliquant l'abattage délibéré du veau tout en maintenant un approvisionnement continu en lait peut entraver la détection d'un signal de traite. De telles stratégies pouvaient par exemple intégrer l'emploi d'un veau factice, fabriqué avec la peau du veau abattu, impliquer l'utilisation d'un veau né d'une autre vache ou bien encore le soufflage d'air dans le vagin de la vache (*i.e.* insufflation) en utilisant ses mains, une coquille ou un petit tube (Amoroso et Jewell, 1963 ; Le Quellec, 2010). Des scènes de traite et d'insufflation sont représentées dans l'art rupestre africain (Balasse *et al.*, 2000 ; Le Quellec, 2010). Les analyses archéozoologiques restent un outil extrêmement puissant pour détecter la production laitière dans les populations archéologiques. Après sa production, le lait peut être consommé cru ou transformé en produits laitiers par le biais de chaînes opératoires montrant l'importance de la poterie (Rosenstock *et al.*, 2021). L'étude des récipients en céramique utilisés pour le traitement des aliments fournit en effet des indices supplémentaires de l'utilisation du lait dans le passé.

ENQUÊTER SUR L'UTILISATION DU LAIT À PARTIR DES TESSONS DE POTERIE

Analyse des résidus organiques sur les tessons de poterie : principes

Bien que la typologie ait été largement utilisée pour inférer l'usage de la poterie (Rice, 2006), l'avènement de l'analyse des résidus organiques dans les années 1970 (Condamine *et al.*, 1976) et ses développements dans les années 1990 (Charters *et al.*, 1993b ; Evershed, 1993 ; Heron et Evershed, 1993) ont fourni un cadre robuste pour l'étude de l'usage des récipients.

À l'exception de quelques cas (par ex. condensats de bois provenant de la cuisson : Reber *et al.*, 2019), les résidus organiques présents dans les céramiques archéologiques proviennent de l'usage qui a été fait du récipient analysé. Ils existent sous trois formes, des plus rares aux plus courantes : (1) les contenus réels conservés *in situ* dans le vase (ex. Charrié-Duhaut *et al.*, 2007), (2) les résidus visibles (également appelés résidus carbonisés ou « croûtes alimentaires »), observés à la surface intérieure ou extérieure du vase, et (3) les résidus absorbés, invisibles à l'œil nu ou par observation optique traditionnelle car conservés dans les pores des parois en argile du vase. Ce dernier type de résidus est le plus couramment détecté dans les tessons archéologiques. Ces résidus sont composés de lipides, graisses, cires et résines naturels. Les lipides issus des aliments transformés dans un récipient non émaillé sont piégés – et protégés – dans les parois d'argile ; ils témoignent ainsi de la durée de vie d'utilisation du vase (Evershed, 1993 ; 2008a). Il convient de noter

ful tool for detecting milk production in archaeological populations. After being produced, milk may be consumed raw or processed into dairy products, with *chaînes opératoires* highlighting the importance of pottery vessels (Rosenstock *et al.*, 2021). The study of ceramic containers used for food processing provide further evidence for milk use in the past.

INVESTIGATING MILK USE USING POTTERY SHERDS

Organic residue analysis of pottery sherds: principles

While typology has been widely used to infer pottery use (Rice, 2006), the advent of organic residue analysis in the 1970's (Condamine *et al.*, 1976) and its developments in the 1990's (Charters *et al.*, 1993b ; Evershed, 1993 ; Heron and Evershed, 1993) have provided a robust framework for the investigation of vessel use.

Except for a few exceptions (e.g. wood condensate from firing ; Reber *et al.*, 2019), organic residues present in archaeological pottery vessels arise from vessel use. They exist in three different types, from the rarest to the most common: (1) actual contents preserved *in situ* in the vessel (e.g. Charrié-Duhaut *et al.*, 2007); (2) visible residues (also termed charred residues or foodcrusts), observed at the inner or outer surface of the vessel; (3) absorbed residues, invisible to the naked eye or by traditional optical observations and preserved in the pores of the pottery clay walls. 'Absorbed residues', are commonly detected in archaeological sherds. They are composed of lipids, fats, waxes and resins of the natural world. Lipids from the foodstuffs processed in an unglazed vessel are trapped and protected in the clay walls and are thus represent the lifetime of use of the vessel (Evershed, 1993 ; 2008b). It is noteworthy that, after mechanical cleaning of the potsherd surface, the lipids detected by chromatographic methods are consistent with vessel use and are not derived from the surrounding soil or any other sources (Heron *et al.*, 1991). The important nature of the absorbed residues, which notably led Evershed *et al.* to focus their work on them, can be explained by: (1) the high occurrence of lipids in this type of residues, (2) their survival through archaeological time, because of their hydrophobicity, (3) their protected nature, preventing contamination from the soil (Heron *et al.*, 1991) and from handling, after cleaning before analysis, and (4) the integrated signal from the lifetime of use of the vessel (Evershed, 2008a ; Miller *et al.*, 2020), ethnographic data showing that the median age for pottery range between one year and several tens of years, depending on its basic strength, mode of use, the cause of breakage and cost (Foster, 1960 ; David, 1972 ; Deboer, 1974 ; Orton *et al.*, 1993 : 207-209).

Contrary to other organic remains, such as grains, wood, charcoal or textiles, the absence of morphology prevents archaeologists from identifying the nature of

qu'après nettoyage mécanique de la surface du tesson, les lipides détectés par des méthodes chromatographiques correspondent uniquement aux résidus liés à l'usage du vase et ne proviennent ni du sol environnant, ni d'aucune autre source (Heron *et al.*, 1991). L'importance des résidus absorbés, qui a notamment conduit Evershed et collaborateurs à en privilégier l'étude, peut s'expliquer par : (1) la forte occurrence de lipides dans ce type de résidus, (2) leur hydrophobie qui en a favorisé la conservation, (3) leur nature « protégée », empêchant toute contamination par le sol (Heron *et al.*, 1991) ou par manipulation, après nettoyage et avant analyse, (4) un signal correspondant à la durée d'utilisation du vase (Evershed, 2008a ; Miller *et al.*, 2020), certaines données ethnographiques montrant que la durée moyenne d'utilisation des poteries varie entre un an et plusieurs dizaines d'années, ceci en fonction de leur résistance, de leur mode d'utilisation, de la cause de leur fracturation et de leur coût (Foster, 1960 ; David, 1972 ; Deboer, 1974 ; Orton *et al.*, 1993, p. 207-209).

Contrairement à d'autres restes organiques, tels que les graines, le bois, le charbon de bois ou les textiles, l'absence de morphologie spécifique empêche les archéologues d'identifier la nature des résidus visibles et absorbés (et plus rarement des contenus *in situ*). Des techniques analytiques de pointe sont donc employées pour décrypter les signaux chimiques liés au stockage ou à la préparation des aliments au sein même du vase. Les résidus organiques consistent généralement en des mélanges complexes de composés dégradés – le plus souvent des acides gras et acylglycérols – à faible concentration. Ainsi, l'accent a été mis sur la chromatographie en phase gazeuse (CPG, en anglais GC) et à haute température (CPG-HT, en anglais HTGC) pour la séparation des composants lipidiques, mais aussi sur la CPG-spectrométrie de masse (CPG-SM, en anglais GC-MS) et la CPG-HT-SM (en anglais HTGC-MS) pour leur séparation et l'identification de leurs constituants moléculaires et, enfin, sur la CPG-combustion-spectrométrie de masse à rapport isotopique (CPG-C-SRMI, en anglais GC-C-IRMS) pour la détermination de la composition isotopique stable de composés spécifiques.

Diverses matières organiques ont pu être identifiées dans les résidus visibles ou absorbés présents sur les céramiques. On peut notamment penser aux huiles et cires végétales (par ex. Condamin *et al.*, 1976 ; Evershed *et al.*, 1991 ; Colombini *et al.*, 2005 ; Copley *et al.*, 2005d ; Cramp *et al.*, 2011 ; Dunne *et al.*, 2012), à la cire d'abeille (par ex. Heron *et al.*, 1994 ; Regert *et al.*, 2001 ; Garnier *et al.*, 2002 ; Kimpe *et al.*, 2002 ; Evershed *et al.*, 2003 ; Mirabaud *et al.*, 2007 ; Roffet-Salque *et al.*, 2015), aux résines (par ex. Eerkens, 2002 ; Regert *et al.*, 2008), aux goudrons (par ex. Hayek *et al.*, 1990 ; Charters *et al.*, 1993a ; Regert *et al.*, 2003 ; Regert, 2004 ; Lucquin *et al.*, 2007), aux graisses animales (par ex. Evershed *et al.*, 1990 ; Evershed, 1993 ; Evershed *et al.*, 1994 ; Spangenberg *et al.*, 2006 ; Evershed *et al.*, 2008b ; Regert, 2010 ; Evershed *et al.*, 2022) et aux graisses animales d'origine aquatique (par ex. Copley *et al.*, 2004 ; Hansel

visible and absorbed residues (and more rarely *in situ* contents). State-of-the-art analytical techniques are thus employed into unravel chemical signals linked to the storage or processing in pottery vessels. Organic residues usually consist in complex mixtures of degraded compounds, most commonly fatty acyl lipids, at low concentrations. Thus, emphasis has been placed on gas chromatography (GC) and high temperature (HT)GC for the separation of the lipid components, GC-mass spectrometry (GC-MS) and HTGC-MS for their separation and identification of their molecular constituents, and GC-combustion-isotope ratio MS (GC-C-IRMS) for the determination of stable isotope composition of specific compounds.

Various organic commodities have been identified in visible or absorbed residues in pottery including: plant oils and waxes (e.g. Condamin *et al.*, 1976 ; Evershed *et al.*, 1991 ; Colombini *et al.*, 2005 ; Copley *et al.*, 2005d ; Cramp *et al.*, 2011 ; Dunne *et al.*, 2012), beeswax (e.g. Heron *et al.*, 1994 ; Regert *et al.*, 2001 ; Garnier *et al.*, 2002 ; Kimpe *et al.*, 2002 ; Evershed *et al.*, 2003 ; Mirabaud *et al.*, 2007 ; Roffet-Salque *et al.*, 2015), resins (e.g. Eerkens, 2002 ; Regert *et al.*, 2008), tars (e.g. Hayek *et al.*, 1990 ; Charters *et al.*, 1993a ; Regert *et al.*, 2003 ; Regert, 2004 ; Lucquin *et al.*, 2007), animal fats (e.g. Evershed *et al.*, 1990 ; Evershed, 1993 ; Evershed *et al.*, 1994 ; Spangenberg *et al.*, 2006 ; Evershed *et al.*, 2008b ; Regert, 2010 ; Evershed *et al.*, 2022), and animal fats of aquatic origin (e.g. Copley *et al.*, 2004 ; Hansel *et al.*, 2004 ; Craig *et al.*, 2007 ; Evershed *et al.*, 2008a ; Hansel and Evershed, 2009 ; Craig *et al.*, 2011 ; Cramp *et al.*, 2014 ; Davis and Roffet-Salque, 2026).

The presence of biomarkers (Philp and Oung, 1988) and their distributions (“fingerprints”) of compounds are used to identify these commodities. The most common compounds found in archaeological residues are palmitic (C_{16:0}) and stearic (C_{18:0}) fatty acids due to their ubiquitous occurrence in animal fats and oils. Plant oils are characterised by a high abundance of palmitic acid and a low abundance of stearic acid, and can be found together with long-chain odd-carbon number *n*-alkanes, even-carbon number *n*-alkanols and mid-chain ketones (Bianchi, 1995). Plant oils and waxes have only rarely been detected in such residues (e.g. Cramp *et al.*, 2011 ; Dunne *et al.*, 2016). Animal fats are characterised by a high abundance of stearic acid and palmitic acid dominating the lipid assemblage (Fig. 4a). Animal fats are the most common components of residues from archaeological pottery, and have been detected in pottery from the Neolithic (e.g. Copley *et al.*, 2005b), Bronze Age (e.g. Copley *et al.*, 2005c), Iron Age (e.g. Copley *et al.*, 2005a), across a wide geographical range, in southwestern Asia (e.g. Evershed *et al.*, 2008b), Central Europe (e.g. Craig *et al.*, 2005 ; Spangenberg *et al.*, 2006 ; Mirabaud *et al.*, 2007 ; Salque *et al.*, 2013), Britain (e.g. Copley *et al.*, 2003), but also Africa (e.g. Dunne *et al.*, 2012), America (e.g. Eerkens, 2005 ; Correa-Ascencio *et al.*, 2014 ; Taché *et al.*, 2019), eastern Asia (e.g. Craig *et al.*, 2013 ; Lucquin *et al.*, 2016) and Oceania (e.g. Leclerc *et al.*, 2018).

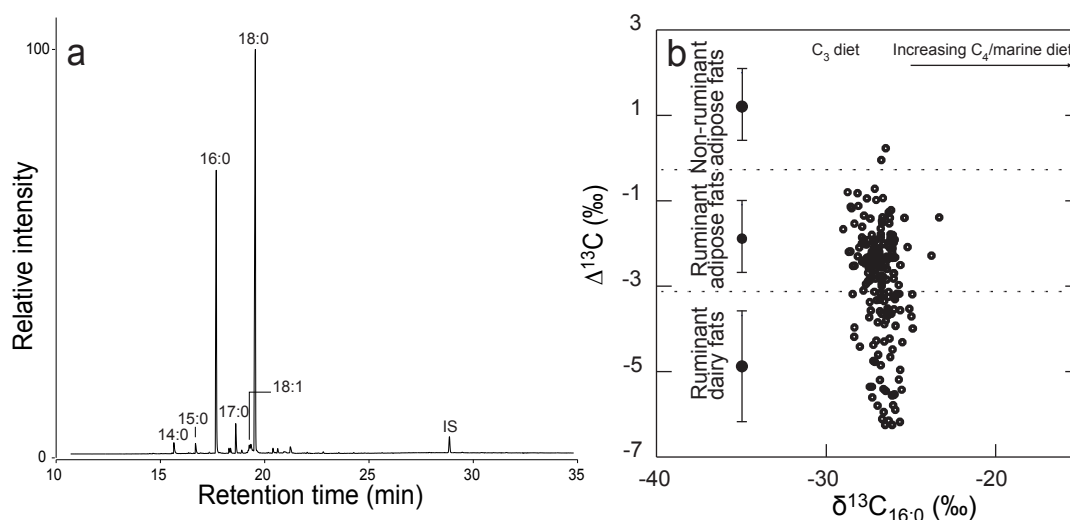


Fig. 4 – a, chromatogramme obtenu par CPG montrant une distribution typique de résidus de graisses animales dégradées, avec une forte abondance d'acides gras $\text{C}_{16:0}$ et $\text{C}_{18:0}$. Cet extrait a été obtenu par hydrolyse des lipides issus d'un résidu absorbé, selon la méthode de Correa-Ascencio et Evershed (2014) : n:i, acide gras avec n nombre d'atomes de carbone acyle et i degré d'insaturation ; IS, étalon interne utilisé pour la quantification ; **b**, différence entre les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ des acides gras $\text{C}_{18:0}$ et $\text{C}_{16:0}$ (valeurs de $\Delta^{13}\text{C}$) obtenues à partir d'extraits archéologiques (Ludwinowo, site LBK). Chaque point représente un récipient.

Fig. 4 – a, gas chromatogram showing a typical distribution of degraded animal fat residue, with a high abundance of $\text{C}_{16:0}$ and $\text{C}_{18:0}$ fatty acids. This extract was obtained through the hydrolysis of lipids from an absorbed residue following Correa-Ascencio, Evershed (2014): n:i, fatty acid with n acyl carbon number and i degree of unsaturation; IS, internal standard used for quantification; **b**, difference in the $\delta^{13}\text{C}$ values of the $\text{C}_{18:0}$ and $\text{C}_{16:0}$ fatty acids ($\Delta^{13}\text{C}$ values) obtained from archaeological extracts (Ludwinowo, LBK site). Each datapoint represents one pottery vessel.

et al., 2004 ; Craig et al., 2007 ; Evershed et al., 2008a ; Hansel et Evershed, 2009 ; Craig et al., 2011 ; Cramp et al., 2014).

La présence de biomarqueurs (Philp et Oung, 1988) et la distribution (« fingerprints ») des composés sont utilisées pour identifier ces différents produits. Les composés les plus courants mis en évidence au sein des résidus archéologiques correspondent aux acides gras palmitique ($\text{C}_{16:0}$) et stéarique ($\text{C}_{18:0}$) en raison de leur omniprésence dans les graisses et huiles animales. Les huiles végétales, caractérisées par une abondance d'acide palmitique et une faible proportion d'acide stéarique, peuvent être associées non seulement à des n-alcanes à longue chaîne et à nombre impair de carbones, mais aussi à des n-alcanols à nombre pair de carbones et à des cétones à chaîne moyenne (Bianchi, 1995). Les huiles et cires végétales n'ont été que rarement détectées au sein de ces résidus (par ex. Cramp et al., 2011 ; Dunne et al., 2016). Les graisses animales se caractérisent par une grande abondance d'acide stéarique et d'acide palmitique, qui dominent l'assemblage lipidique (fig. 4a). Les graisses animales correspondent aux composants les plus courants au sein des résidus provenant des céramiques archéologiques, notamment détectées dans des poteries du Néolithique (par ex. Copley et al., 2005b), de l'âge du Bronze (par ex. Copley et al., 2005c), l'âge du Fer (par ex. Copley et al., 2005a), et ce sur une vaste aire géographique, du sud-ouest de l'Asie (par ex. Evershed et al., 2008b), en Europe centrale (par ex. Craig et al., 2005 ; Spangenberg et al., 2006 ; Mirabaud et al., 2007 ; Salque et al., 2013), en Grande-Bretagne (par ex. Copley et al., 2003), mais aussi en Afrique (par ex. Dunne et al., 2012),

Characterising animal fats in archaeological pottery

Triacylglycerols (TAG), fatty acid triesters of glycerol, are the main component of milk fat and adipose tissue fats in animals and serve mainly as an energy store (Hilditch, 1949; Jensen, 1995: 18). The fatty acid composition of triacylglycerols varies between species (sheep, goat, cattle etc.; e.g. Brockerhoff, 1966; Kagawa et al., 1996) and depends upon the nature of fats (from milk or adipose tissues), the diet on which the animals are raised on (e.g. Smith et al., 1998) and the location of fats in the body (e.g. Christie and Moore, 1971). Study of intact triacylglycerols can be used to infer fat type and sometimes even animal species (Mottram et al., 2001; Mirabaud et al., 2007; Drieu et al., 2025), although this method is reserved for well-preserved residues (e.g. lacustrine sites or small subset of residues studied).

Fresh ruminant fats can be distinguished from non-ruminant fats by the presence of odd-number and branched-chain fatty acids, reflecting of the microbial populations living in the rumen (Keeney et al., 1962; Ifkovits and Ragheb, 1968; Or-Rashid et al., 2007). Nevertheless, accumulation of dietary fatty acids in depot fats from omnivores, such as branch-chain components, potentially complicates interpretations (Jacob and Grimmer, 1967; Shorland et al., 1969). Earlier studies referred to proportion of different fatty acids suspected to be stable through time for the identification of the residues (e.g. Rottländer, 1990; Malainey et al., 1999; Eerkens, 2005). However, because of diagenesis, extreme care has to be taken when comparing the abundance ratios of fatty acids (e.g. $\text{C}_{16:0}/$

Amérique (par ex. Eerkens, 2005 ; Correa-Ascencio *et al.*, 2014 ; Taché *et al.*, 2019), Asie de l'Est (par exemple Craig *et al.*, 2013 ; Lucquin *et al.*, 2016) et Océanie (par ex. Leclerc *et al.*, 2018).

Caractérisation des graisses animales dans la céramique archéologique

Les triacylglycérols (TAG), triesters d'acides gras du glycérol, sont les principaux composants des graisses du lait et des tissus adipeux chez les animaux. Ils servent principalement de réserve d'énergie (Hilditch, 1949 ; Jensen, 1995, p. 18). La composition en acides gras des triacylglycérols varie selon les espèces (mouton, chèvre, bovin, etc. ; par ex. Brockerhoff, 1966 ; Kagawa *et al.*, 1996) et dépend à la fois de la nature des graisses (provenant du lait ou des tissus adipeux), du régime alimentaire des animaux (par ex. Smith *et al.*, 1998) mais aussi de la localisation des graisses dans le corps (par ex. Christie et Moore, 1971). L'étude des triacylglycérols intacts peut être utilisée pour inférer le type de graisse et parfois même l'espèce animale (Mottram *et al.*, 2001 ; Mirabaud *et al.*, 2007 ; Drieu *et al.*, 2025), bien que cette méthode soit réservée aux résidus bien conservés (par ex. sites lacustres ou de rares échantillons provenant d'autres contextes).

Les graisses fraîches de ruminants peuvent être distinguées des graisses de non-ruminants par la présence d'acides gras à nombre impair de carbones et à chaîne ramifiée, reflétant les populations microbiennes vivant dans le rumen (Keeney *et al.*, 1962 ; Ifkovits et Ragheb, 1968 ; Or-Rashid *et al.*, 2007). Cependant, l'accumulation d'acides gras alimentaires dans les graisses de réserve des omnivores, tels que les composants à chaîne carbonée ramifiée, complique potentiellement les interprétations (Jacob et Grimmer, 1967 ; Shorland *et al.*, 1969). Les premières études se référaient aux proportions de différents acides gras supposés stables dans le temps afin d'identifier les résidus (par ex. Rottländer, 1990 ; Malainey *et al.*, 1999 ; Eerkens, 2005). Cependant, en raison de la diagenèse, l'identification des sources de lipides archéologiques doit faire l'objet d'une extrême prudence lors de la comparaison des rapports d'abondance des acides gras (par ex. $C_{16:0}/C_{18:0}$) entre tessons archéologiques et aliments frais (Eerkens, 2007), les lipides se modifiant avec le temps (par ex. beurre et graisse de mouton incubés dans l'eau, den Dooren De Jong *et al.*, 1961 ; Mills et White, 1994, p. 34). En effet, les différents taux de dégradation des acides gras entraînent une diminution du rapport $C_{16:0}/C_{18:0}$ au fil du temps (Dudd, 1999, p. 232-233). Par conséquent, l'identification des types de graisses basée sur la composition moléculaire des résidus graisseux archéologiques reste un défi.

Dans les années 1990, Evershed et ses collaborateurs (1997) ont démontré que la composition isotopique stable en carbone des acides palmitique ($C_{16:0}$) et stéarique ($C_{18:0}$), acides gras couramment observés dans les graisses animales dégradées, pouvait être utilisée pour différencier les graisses de ruminants des graisses de

$C_{18:0}$) from archaeological potsherd with fresh foodstuffs, in order to identify the source of the archaeological lipids (Eerkens, 2007), as they change through time (e.g. butter and mutton fat incubated in water, den Dooren De Jong *et al.*, 1961 ; Mills and White, 1994: 34). In fact, the different rates of decay of the fatty acids result in the decrease of the $C_{16:0}/C_{18:0}$ ratio through time (Dudd, 1999: 232-233). Hence, the identification of fat types based on the molecular composition of archaeological fat residues is highly challenging.

In the 1990's, Evershed *et al.* (1997) demonstrated that the stable carbon isotopic composition of the commonly observed palmitic ($C_{16:0}$) and stearic ($C_{18:0}$) acids, major fatty acids in degraded animal fats, could be used to differentiate ruminant from non-ruminant fats, and adipose (meat) from dairy fats (Dudd and Evershed, 1998). Adipose fats from non-ruminants are typically more enriched in ^{13}C than ruminant fats. The $\delta^{13}C$ values for palmitic acid is similar in dairy and ruminant adipose fats, however, stearic acid is more depleted in ^{13}C in dairy fats compared to adipose fats (Copley *et al.*, 2003). This 2.3‰ difference in the $\delta^{13}C_{18:0}$ values was explained by the metabolism of ruminants: as mammary glands is unable to synthesise $C_{18:0}$, ca. 40% is remobilized from adipose fats and 60% is directly incorporated from the feed to the milk, after biohydrogenation of the $C_{18:n}$ fatty acids in the rumen (Dudd and Evershed, 1998 ; Copley *et al.*, 2003). These two pools have different $\delta^{13}C_{18:0}$ values, as an 8‰ difference exists between the $C_{18:n}$ fatty acids and carbohydrates, mainly glucose, in C_3 plants, which are used for the biosynthesis of $C_{18:0}$ in adipose fats (Copley *et al.*, 2003). The isotopic difference between fatty acids and carbohydrates in plants results from enzymatic fractionation during the formation of acetylCoA from pyruvate (DeNiro and Epstein, 1977).

Lipid extracts from archaeological pottery are thus first identified as animal fats thanks to their molecular composition (high abundance of $C_{16:0}$ and $C_{18:0}$ fatty acids ; Fig. 4a). Their $\delta^{13}C$ values are then determined by GC-C-IRMS. Raw $\delta^{13}C$ values of archaeological animal fats are compared to modern animal fats of known sources (see Roffet-Salque *et al.*, 2017 for caveats) to characterise fat types, such ruminant and non-ruminant fats, and dairy and adipose (meat) fats (Dudd and Evershed, 1998 ; Copley *et al.*, 2003 ; Spangenberg *et al.*, 2006 ; Gregg *et al.*, 2009 ; Outram *et al.*, 2009 ; Dunne *et al.*, 2012). The $\Delta^{13}C$ proxy ($\Delta^{13}C = \delta^{13}C_{18:0} - \delta^{13}C_{16:0}$) emphasises the biosynthetic and metabolic characteristics of the animal fat source, while removing the environmental effects on $\delta^{13}C$ values e.g. C_4 plants in the feed (Evershed *et al.*, 2008b ; Dunne *et al.*, 2012 ; Fig. 4b).

Protein analysis of pottery sherds

The advance of collagen peptide proteomics mass spectrometry (termed ZooMS) in the late 2000's (Buckley *et al.*, 2009) opened up a new way of taxonomic fingerprinting for archaeozoology. Determination of animal species based on bone or skin collagen has been the subject of many studies (e.g. Buckley *et al.*, 2009 ; Welker

non-ruminants ainsi que les graisses adipeuses (viande) des graisses laitières. Les graisses adipeuses des non-ruminants sont généralement plus riches en ^{13}C que celles des ruminants. Les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ de l'acide palmitique sont similaires dans les graisses laitières et adipeuses des ruminants, mais l'acide stéarique est plus appauvri en ^{13}C dans les graisses laitières par rapport aux graisses adipeuses (Copley *et al.*, 2003). Cette différence de 2,3 ‰ dans les valeurs de $\delta^{13}\text{C}_{18:0}$ a été expliquée par le métabolisme des ruminants : les glandes mammaires ne permettant pas la synthèse du $\text{C}_{18:0}$, environ 40 % de celui-ci est remobilisé à partir des graisses adipeuses et 60 % est directement incorporé, à partir de l'alimentation, dans le lait, après bio-hydrogénation des acides gras $\text{C}_{18:n}$ dans le rumen (Dudd et Evershed, 1998 ; Copley *et al.*, 2003). Ces deux réservoirs ont des valeurs de $\delta^{13}\text{C}_{18:0}$ distinctes car une différence de 8 ‰ existe entre les acides gras $\text{C}_{18:n}$ et les glucides, principalement le glucose, dans les plantes en C_3 , plantes utilisées pour la biosynthèse du $\text{C}_{18:n}$ dans les graisses adipeuses (Copley *et al.*, 2003). La différence isotopique entre acides gras et glucides dans les plantes résulte du fractionnement enzymatique pendant la formation de l'acétyl-CoA à partir du pyruvate (DeNiro et Epstein, 1977).

Les extraits lipidiques des poteries archéologiques sont donc avant tout identifiés comme des graisses animales grâce à leur composition moléculaire (i.e. forte abondance des acides gras $\text{C}_{16:0}$ et $\text{C}_{18:0}$; fig. 4a). Leurs valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ sont ensuite déterminées par CPG-C-SRMI. Les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ brutes des graisses animales archéologiques sont comparées à celles des graisses animales modernes de sources connues (voir Roffet-Salque *et al.*, 2017 pour les mises en garde) afin de caractériser les types de graisses, telles que les graisses de ruminants et de non-ruminants ainsi que les graisses laitières et adipeuses (viande ; Dudd et Evershed, 1998 ; Copley *et al.*, 2003 ; Spangenberg *et al.*, 2006 ; Gregg *et al.*, 2009 ; Outram *et al.*, 2009 ; Dunne *et al.*, 2012). Le proxy $\Delta^{13}\text{C}$ ($\Delta^{13}\text{C} = \delta^{13}\text{C}_{18:0} - \delta^{13}\text{C}_{16:0}$) met en évidence les caractéristiques biosynthétiques et métaboliques de la source de graisse animale, tout en éliminant les effets environnementaux sur les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$, comme par exemple ceux des plantes C_4 dans l'alimentation (Evershed *et al.*, 2008b ; Dunne *et al.*, 2012 ; fig. 4b).

Analyse des protéines issues des tessons de poterie

À la fin des années 2000, l'avancée de la protéomique par spectrométrie de masse des peptides de collagène (appelée ZooMS ; Buckley *et al.*, 2009) a ouvert de nouvelles perspectives pour la taxonomie en archéozoologie. La détermination des espèces animales à partir du collagène osseux ou cutané a fait l'objet de nombreuses études (par ex. Buckley *et al.*, 2009 ; Welker *et al.*, 2015 ; Cappellini *et al.*, 2018 ; Fiddyment *et al.*, 2019). En plus d'être spécifiques aux espèces, les protéines peuvent être spécifiques aux tissus, permettant théoriquement de distinguer les différents tissus d'un même organisme (lait ou

et al., 2015 ; Cappellini *et al.*, 2018 ; Fiddyment *et al.*, 2019). In addition to being species-specific, proteins can be tissue-specific, theoretically allowing the distinction to be made between tissues of the same organism (milk vs meat, but also grains vs leaves from the same plant). In contrast to lipid residue analysis, the studies of proteins from pottery sherds offers the potential to reconstruct vessel use with taxon-level information. Several potential sources of ancient proteins have been identified, namely foodcrusts, calcified deposits at the surface of pottery sherds and ceramic surfaces or matrices (in the absence of foodcrusts or calcified deposits; Hendy, 2021). Following up on early attempts with an immunological method (Craig *et al.*, 2000), proteins are now typically analysed using LC-MS/MS or MALDI-TOF MS (Cappellini *et al.*, 2018 ; Hendy, 2021). Milk use is attested from the identification of milk proteins in Late Neolithic/Early Chalcolithic Catalhöyük (Hendy *et al.*, 2018a) or late Neolithic Poland (Evans *et al.*, 2023).

Early work in the 1990's showed that concentrations of proteins from cooking meat were very low, as were the concentrations in archaeological pottery (Evershed and Tuross, 1996). However, it is only recently that further experimental work using modern foodstuffs and cooking experiments has been carried out, shedding some light on mechanisms behind protein deposition and preservation (Evans *et al.*, 2023 ; Dekker *et al.*, 2025). The most abundant milk protein detected in pottery (and dental calculus, see below) is the whey protein β -lactoglobulin (BLG; Warinner *et al.*, 2014 ; Hendy *et al.*, 2018a ; Wilkin *et al.*, 2020). However, milk typically comprises 80-85% of curd proteins (casein) and their detection in pottery (or dental calculus) is surprisingly rare, except in arid or cold environments (Yang *et al.*, 2014). The presence of BLG over other (more abundant) milk proteins remains unexplained, with some studies showing differential stability and thus the potential for contrasting preservation of different proteins (Fonseca *et al.*, 2022). Clearly, further work is required before proteomics in organic residue analysis in pottery can be applied routinely.

Advantages and limitations

In the last 30 years, lipid residue analysis of archaeological pottery vessels has offered insights on milk use at site (e.g. Roffet-Salque *et al.*, 2019), regional (e.g. Evershed *et al.*, 2008b ; Debono Spiteri *et al.*, 2016) or continental levels (e.g. Evershed *et al.*, 2022). With a recent development in compound-specific ^{14}C analysis (Casanova *et al.*, 2020), milk residues detected in archaeological pottery can be ^{14}C -dated accurately (e.g. Casanova *et al.*, 2021a for ruminant milk ; Casanova *et al.*, 2022 for equine products).

Lipid residue analysis is of course limited to archaeological phases with pottery, although lipids have been recovered from stone vessels (Kendall, 2013 ; Admiraal *et al.*, 2019 ; Dunne *et al.*, 2022). Quantification of milk use at sites can be challenging due to the possible handling of milk in perishable organic containers rather than pottery. This practice still occurs today, with southwestern Asian

viande, mais aussi grains ou feuilles d'une même plante). Contrairement à l'analyse des résidus lipidiques, l'étude des protéines à partir des tessons de poterie permet d'atteindre des informations d'ordre taxinomique afin de reconstruire l'usage des récipients analysés. Plusieurs sources potentielles de protéines anciennes ont été identifiées, comme les croûtes alimentaires, les dépôts calcifiés à la surface des tessons de poterie et les surfaces ou matrices céramiques (en l'absence de croûtes alimentaires ou de dépôts calcifiés ; Hendy, 2021). À la suite des premières tentatives menées par le biais d'une méthode immunologique (Craig *et al.*, 2000), les protéines sont maintenant typiquement analysées par chromatographie en phase liquide (CPL) -SM/SM (en anglais LC-MS/MS) ou MALDI-TOF MS (Cappellini *et al.*, 2018 ; Hendy, 2021). L'utilisation du lait est attestée par l'identification de protéines laitières dans le Néolithique final/Chalcolithique de Çatalhöyük (Hendy *et al.*, 2018a) ou encore dans le Néolithique récent de Pologne (Evans *et al.*, 2023).

Les tout premiers travaux, conduits dans les années 1990, ont montré que les concentrations de protéines provenant de la cuisson de la viande étaient très faibles, tout comme leur concentration au sein des céramiques archéologiques (Evershed et Tuross, 1996). Cependant, ce n'est que récemment que des travaux expérimentaux de cuisson utilisant des aliments modernes ont été menés, éclairant les mécanismes responsables du dépôt et la conservation des protéines (Evans *et al.*, 2023 ; Dekker *et al.*, 2025). La protéine laitière la plus abondante détectée dans la poterie (et le tartre dentaire, voir ci-dessous) est la β -lactoglobuline (BLG), une protéine du lactosérum (Warinner *et al.*, 2014 ; Hendy *et al.*, 2018a ; Wilkin *et al.*, 2020). Cependant, le lait comprend généralement 80 à 85 % de protéines de caillé (caséine), et leur détection dans la poterie (ou le tartre dentaire) est étonnement rare, sauf dans les environnements arides ou froids (Yang *et al.*, 2014). La présence de BLG en plus grande quantité que d'autres protéines laitières (pourtant plus abondantes) reste inexpliquée, certaines études montrant une stabilité différentielle - et donc un potentiel de conservation contrasté - entre les différentes protéines (Fonseca *et al.*, 2022). Il est clair que des travaux supplémentaires sont aujourd'hui nécessaires avant que la protéomique puisse être appliquée de manière routinière pour l'analyse des résidus organiques de la poterie.

Avantages et limitations

Au cours des 30 dernières années, l'analyse des résidus lipidiques des céramiques archéologiques a renouvelé nos connaissances sur l'utilisation du lait, que ce soit à l'échelle des sites (par ex. Roffet-Salque *et al.*, 2019), des régions (par ex. Evershed *et al.*, 2008b ; Debono Spiteri *et al.*, 2016) ou des continents (par ex. Evershed *et al.*, 2022). Avec le développement récent de l'analyse du ^{14}C par composé spécifique (Casanova *et al.*, 2020), les résidus laitiers détectés dans la céramique archéologique peuvent être datés avec précision (par ex. Casanova *et*

pastoralist societies relying on perishable containers for milk processing, e.g. using sheep or goatskin vessels to make yoghurt (jameed; Tancoigne, 2021).

Animal fats usually dominate the lipid assemblage in pottery from Prehistory, owing to the high concentration of lipids in animal products compared to plant products. This bias thus prevents recipes to be reconstructed from lipid residue analysis (Whelton *et al.*, 2021). Experimental and ethnoarchaeological studies are critical to determine what lipid signal is present when processing specific foodstuffs (Evershed, 2008a; Dunne *et al.*, 2018; Drieu *et al.*, 2022; Debels *et al.*, 2025). Also, except using TAGs in well-preserved residues (Evershed *et al.*, 2002; Mirabaud *et al.*, 2007; Drieu *et al.*, 2025), the analysis of lipids is unable to provide taxonomic information regarding the producer animal.

Finally, diagenesis affects lipids differently depending on burial conditions. Although Evershed (2008a) reports that 90% of the British sherds contain absorbed residues, it is important to underline that the recovery rate can vary from 0 to 100%, and is dependent on the use of the pottery vessel, the type of fabric, the type of sherds (even if it is naturally dependent on the pottery shape, rims are usually considered to lead better recovery rates, due to the hydrophobicity of lipids; Charters *et al.*, 1993b; 1997), the burial conditions such as pH of the soil, fluctuations of temperature, relative humidity etc. Experimental archaeology is giving insights into the impact of those factors on lipid survival (Evershed, 2008a; Drieu *et al.*, 2019; Hammann *et al.*, 2020; Cayme *et al.*, 2024; Zhang *et al.*, 2026a et b). In general, good preservation of lipids are observed in acidic soils (e.g. Smyth and Evershed, 2016 in Ireland), making organic residue analysis highly complementary to the study of skeletal remains, which are generally poorly preserved in such conditions.

Proteomics analysis of pottery offers a tempting method for investigating milk use in the past, particularly because it could offer taxonomic information on milk producers. This fast-paced field is battling with questions about endogeneity, as reagents used in protein extraction and characterization also contain proteins found in food (Ramsøe *et al.*, 2020). While calcified deposits may offer a promising source of ancient proteins, the extraction, analysis and interpretation of proteins from foodstuffs in the pottery matrix is laced with challenges (Hendy *et al.*, 2018c). There is no doubt that with more experimental studies, the strengths and limitations of proteomics applied to archaeological pottery will become better defined.

ON THE DETECTION OF MILK CONSUMPTION AT THE LEVEL OF THE INDIVIDUAL

Lactose and lactase persistence

The milk of most mammals contains lactose (4-*O*- β -D-galactopyranosyl-D-glucopyranose), a disaccharide often called "milk sugar". The lactose concentration in

al., 2021a pour le lait de ruminant ; Casanova *et al.*, 2022 pour les produits équins).

Bien que l'analyse des résidus lipidiques soit bien entendu limitée aux périodes archéologiques caractérisées par l'utilisation de poteries, la présence de lipides a déjà pu être identifiée à partir de l'analyse de vases en pierre (Kendall, 2013 ; Admiraal *et al.*, 2019 ; Dunne *et al.*, 2022). La quantification de l'utilisation du lait sur les sites peut être complexe en raison de la manipulation possible du lait dans des contenants organiques périssables plutôt qu'en poterie. Cette pratique persiste encore aujourd'hui dans le cadre de sociétés pastorales d'Asie du Sud-Ouest qui s'appuient sur l'utilisation de contenants périssables pour le traitement du lait, en utilisant par exemple des récipients en peau de mouton ou de chèvre pour fabriquer du yaourt (*jameed* ; Tancoigne, 2021).

Les graisses animales dominent généralement l'assemblage lipidique dans la céramique préhistorique en raison de la forte concentration de lipides dans les produits animaux par rapport aux produits végétaux. Ce biais empêche donc la reconstruction des recettes à partir de l'analyse des résidus lipidiques (Whelton *et al.*, 2021). Les études expérimentales et ethnoarchéologiques sont essentielles pour déterminer quel signal lipidique est présent lors du traitement d'aliments spécifiques (Evershed, 2008b ; Dunne *et al.*, 2018 ; Drieu *et al.*, 2022 ; Debels *et al.*, 2025). De plus, sauf en utilisant les TAG (triacylglycérols) dans des résidus bien conservés (Evershed *et al.*, 2002 ; Mirabaud *et al.*, 2007 ; Drieu *et al.*, 2025), l'analyse des lipides est incapable de fournir les informations taxonomiques liées à l'animal producteur.

Enfin, la diagenèse affecte les lipides différemment selon les conditions d'enfouissement. Bien qu'Evershed (2008b) rapporte que 90 % des tessons britanniques contiennent des résidus absorbés, il est important de souligner que le taux de récupération peut varier de 0 à 100 %. Il dépend en effet de l'usage du vase, du type de pâte céramique, du type de tessons (même si cela dépend naturellement de la forme de la poterie, les bords sont généralement considérés comme permettant de meilleurs taux de récupération en raison de l'hydrophobie des lipides ; Charters *et al.*, 1993b ; 1997) ainsi que des conditions d'enfouissement, telles que le pH du sol, les fluctuations de température, l'humidité relative, etc. L'archéologie expérimentale apporte des éclairages sur l'impact de ces facteurs sur la survie des lipides (Evershed, 2008b ; Drieu *et al.*, 2019 ; Hammann *et al.*, 2020 ; Cayme *et al.*, 2024 ; Zhang *et al.*, 2026a et b). En général, une bonne conservation des lipides est observée dans les sols acides (par ex. en Irlande : Smyth et Evershed, 2016), rendant l'analyse des résidus organiques hautement complémentaire à l'étude des restes squelettiques, qui sont généralement mal conservés dans de telles conditions.

L'analyse protéomique de la poterie offre une méthode prometteuse pour étudier l'utilisation du lait dans le passé, en particulier parce qu'elle permet théoriquement de fournir des informations d'ordre taxonomiques sur les producteurs de lait. Ce domaine, en pleine expansion, est confronté à des questions sur l'endogénéité du signal, car

mammal milk varies between species, from around 30 g L⁻¹ for reindeer, 40 to 50 g L⁻¹ for cattle, sheep, goat, camel and buffalo, to around 60 g L⁻¹ for mare and 70 g L⁻¹ for humans (Bunge, 1898; FAO, 1998). The enzyme lactase, responsible for breaking down the lactose into its monosaccharides glucose and galactose in the small intestine, is fundamental to the early development of young humans (Ingram and Swallow, 2009). However, after the weaning period is over, the enzyme activity decreases in most adults, leading the majority of adults showing symptoms of lactose malabsorption after drinking milk. The symptoms for "lactase non-persistence" or "lactose intolerance" usually appear within 1 or 2 hours after the ingestion of the lactose load resulting in diarrhoea, discomfort, bloating and flatulence (Flatz and Rotthauwe, 1977). Milk processing reduces the amount of lactose (e.g. McCracken, 1971a), and thus the symptoms associated with lactose intolerance. The lactose content in fermented dairy products, such as fermented beverages, yogurts and sour cream, is around 30% lower than in raw milk, since a proportion of the lactose is fermented into lactic acid. The processing of milk in butter or certain types of cheese removes water and lactose at the same time in the whey (McCracken, 1971a).

In Eurasia, the lactase persistence of some Finnish and then broadly Northern European populations was successfully correlated with the single nucleotide polymorphism -13,910C>T (Enattah *et al.*, 2002; Poulter *et al.*, 2003). The frequency of the LP allele (rs4988235-A, also known as 13,910*T; hereinafter referred to as the "LP allele") varies dramatically amongst different modern European populations. The highest frequency (80 to 90%) was detected in Swedes and Danes, while this frequency declines towards the South East to less than 20% (Swallow, 2003). However, the quasi absence of the allele -13,910*T in African populations was interpreted by the probable multiple evolution of the lactase persistence. New sequence variants (-13,907*G, -13,915*G and -14,010*C) were then associated to lactase persistence in African populations (Ingram *et al.*, 2007; Tishkoff *et al.*, 2007). The LP genotype data is sufficient to explain the LP phenotype data in most parts of Europe, but still insufficient for southeastern Europe, western and south Africa, the Middle East and parts of central and southern Asia (Itan *et al.*, 2010). The genetic variant -13,910*T appeared 2,200 to 20,600 years ago (Bersaglieri *et al.*, 2004) or 7,500 to 45,000 years ago (Coelho *et al.*, 2005). The main African LP allele 14,010*C arose in the last 1,200 to 23,200 years (Tishkoff *et al.*, 2007). The origin of the -13,910*T allele/dairying co-evolution appeared to be in a region between the Central Balkans and central Europe, between 6,260 and 8,690 years ago (Itan *et al.* 2009).

Over the last 30 years, the field of palaeogenomics has seen extensive improvement in aDNA recovery, with high-throughput sequencing revolutionising the field. Nowadays, petrous part of the temporal bone in the skull and cementum layer in tooth roots are considered as material of choice for aDNA sampling (Gamba *et al.*, 2014; Damgaard *et al.*, 2015). Bones and teeth are digested and DNA released into solution, and a

les réactifs utilisés dans l'extraction et la caractérisation des protéines contiennent également des protéines que l'on trouve dans les aliments (Ramsøe *et al.*, 2020). Bien que les dépôts calcifiés puissent offrir une source prometteuse de protéines anciennes, l'extraction, l'analyse et l'interprétation des protéines des aliments au sein de la matrice de la poterie sont semées d'embûches (Hendy *et al.*, 2018c). Il ne fait aucun doute qu'avec davantage d'études expérimentales, les avantages et limites de la protéomique appliquée à la céramique archéologique seront mieux définies.

DÉTECTION DE LA CONSOMMATION DE LAIT AU NIVEAU DE L'INDIVIDU

Lactose et persistance de la lactase

Le lait de la plupart des mammifères contient du lactose (4-*O*- β -D-galactopyranosyl-D-glucopyranose), un disaccharide souvent appelé « sucre du lait ». La concentration en lactose dans le lait des mammifères varie, selon les espèces : 30 g/L pour le renne, 40 à 50 g/L pour les bovins, ovins, caprins, camélidés et buffles, 60 g/L pour la jument, et 70 g/L pour les humains (Bunge, 1898 ; FAO, 1998). L'enzyme lactase, responsable de la dégradation du lactose en ses monosaccharides (glucose et galactose) dans l'intestin grêle, est fondamentale au développement précoce des jeunes humains (Ingram et Swallow, 2009). Cependant, après la période de sevrage, l'activité enzymatique diminue chez la plupart des adultes, entraînant des symptômes de malabsorption du lactose chez la majorité des adultes après consommation du lait. Les symptômes de « non-persistance de la lactase » ou « intolérance au lactose » apparaissent généralement 1 à 2 heures après l'ingestion d'une charge de lactose, entraînant des diarrhées, inconforts, ballonnements et flatulences (Flatz et Rothauwe, 1977). La transformation du lait réduit la quantité de lactose (par ex. McCracken, 1971b), et donc les symptômes associés à son intolérance. La teneur en lactose des produits laitiers fermentés, tels que les boissons fermentées, yaourts et crème aigre, est d'environ 30 % inférieure à celle du lait cru en raison du fait qu'une partie du lactose est fermentée en acide lactique. La transformation du lait en beurre ou en certains types de fromage élimine l'eau et le lactose en même temps que le lactosérum (McCracken, 1971b).

En Eurasie, la persistance de la lactase de certaines populations finnoises, puis, plus largement, d'Europe du Nord, a été corrélée avec le polymorphisme mononucléotidique -13 910C>T (Enattah *et al.*, 2002 ; Poulter *et al.*, 2003). La fréquence de l'allèle LP (rs4988235-A, également connu sous le nom de 13 910*T ; ci-après appelé « allèle LP ») varie considérablement entre les différentes populations européennes modernes. La fréquence la plus élevée (80 à 90 %) a été détectée chez les Suédois et les Danois, tandis que cette fréquence diminue vers le sud-est pour atteindre moins de 20 % (Swallow, 2003). Cependant, la quasi-absence de l'allèle -13 910*T dans les populations africaines a été interprétée comme

next-generation sequencing workflow applied. Nowadays the most widely used sequencing approaches are shotgun and target-enriched sequencing (see Cappellini *et al.*, 2018 for a review).

Proteins from dental calculus

The demonstration that modern and archaeological dental calculus preserved proteins (Warinner *et al.*, 2014; Cappellini *et al.*, 2018; Hendy, 2023; Standeven *et al.*, 2025), opened up a field that was hoped to gain hitherto unattainable information about past human diets. Similar to proteins in pottery, BLG is also the main milk protein detected in dental calculus. The literature on proteins in dental calculus is rather rich, with researchers exploring chronological and geographical trends in diets (Hendy *et al.*, 2018b; Wilkin *et al.*, 2020; Bleasdale *et al.*, 2021). Studies of dental calculus tend to focus on a few tens of individuals, sometimes a few hundred, sampled over vast regions and long time periods (e.g. Wilkin *et al.*, 2020; Standeven *et al.*, 2025).

Perspective: using calcium from skeletal remains

After few attempts in the 2010's (Reynard *et al.*, 2010; 2011), a recent promising development for the determination of milk consumption in the past came from the analysis of the calcium (Ca) isotopic make-up of human bone (Tacail *et al.*, 2021). Animal milk is a major source of dietary Ca, with Ca concentrations in ruminant milk ranging between 1-2 g/kg and cheese 3-12 g/kg. In contrast, Ca concentration in meat is *ca.* 0.15 mg/kg and cereals 0.25 mg/kg (Tacail *et al.*, 2021). Furthermore, Ca from milk and dairy products is easily assimilated and fixed in bones as those products are also a source of vitamin D which promotes the intestinal absorption and retention of Ca (Guéguen and Pointillart, 2000). The major dietary sources of Ca for humans have distinct $\delta^{44/42}\text{Ca}$ values (proportion of stable ^{44}Ca versus ^{42}Ca , against a standard). Notably, fractionation of *ca.* -0.6‰ is observed between dietary Ca and Ca excreted through milk in ewes, cattle and humans, leading to lower $\delta^{44/42}\text{Ca}$ values in dairy products and breast milk compared to meat or cereals. The abundance of Ca in milk and its distinct isotope composition makes it ideal for being tracked in human bone. Indeed, compilation of $\delta^{44/42}\text{Ca}$ values of bones from six animal species (Tacail *et al.*, 2020) demonstrated that the Ca of bone systematically displays lower $\delta^{44/42}\text{Ca}$ values than dietary Ca, by *ca.* $-0.57 \pm 0.10\text{‰}$. This change in the Ca isotope composition of skeletal bioapatite results from an isotope fractionation occurring during Ca physiological processing and fixation in bones. Ca isotope composition of Ca-rich mineralised tissues (i.e. in the hydroxyapatite mineral phase of bone, as well as tooth enamel and dentine) can thus be used to reconstruct dietary patterns in vertebrates (Tacail *et al.*, 2020).

The characteristic $\delta^{44/42}\text{Ca}$ value of milk was shown by Tacail *et al.* (2017) to be recorded in enamel from human

résultant d'une évolution multiple de la persistance de la lactase. De nouveaux variants de séquence (-13 907*G, -13 915*G et -14 010*C) ont ensuite été associés à la persistance de la lactase dans les populations africaines (Ingram *et al.*, 2007 ; Tishkoff *et al.*, 2007). Les données génétiques LP suffisent à expliquer les données phénotypiques LP dans la plupart des régions d'Europe, mais restent insuffisantes pour l'Europe du Sud-Est, l'Afrique de l'Ouest et du Sud, le Moyen-Orient et certaines parties de l'Asie centrale et australe (Itan *et al.*, 2010). Le variant génétique -13 910*T est apparu il y a 2 200 à 20 600 ans (Bersaglieri *et al.*, 2004) ou 7500 à 45 000 ans (Coelho *et al.*, 2005). L'allèle 14 010*C, principal allèle LP africain, est de son côté apparu il y a 1200 à 23 200 ans (Tishkoff *et al.*, 2007). L'origine de la co-évolution allèle -13 910*T/laitage semble se localiser dans une région située entre le centre des Balkans et l'Europe centrale, il y a 6 260 à 8 690 ans (Itan *et al.*, 2009).

Au cours des 30 dernières années, le domaine de la paléogénomique a connu des développements méthodologiques importants qui ont révolutionné les techniques d'extraction de l'ADN ancien, permettant un séquençage à haut débit. Aujourd'hui, la partie pétreuse de l'os temporal et le ciment radiculaire sont considérés comme des matériaux de choix pour l'échantillonnage de l'ADN ancien (Gamba *et al.*, 2014 ; Damgaard *et al.*, 2015). Une fois les os et dents digérés et l'ADN libéré en solution, un processus de séquençage nouvelle génération est mis en œuvre. Aujourd'hui, les approches de séquençage les plus largement utilisées sont le séquençage « shotgun » et le séquençage enrichi en cibles (voir Cappellini *et al.*, 2018 pour une synthèse).

Les protéines du tartre dentaire

La démonstration que le tartre dentaire moderne et archéologique conservait des protéines (Warinner *et al.*, 2014 ; Cappellini *et al.*, 2018 ; Hendy, 2023 ; Standeven *et al.*, 2025) a ouvert un champ de recherche susceptible de permettre l'obtention d'informations inédites sur les régimes alimentaires passés. Similaire aux protéines dans la poterie, la β -lactoglobuline (BLG) correspond également à la principale protéine laitière détectée dans le tartre dentaire. La littérature sur les protéines du tartre dentaire est plutôt riche, avec des chercheurs explorant les tendances chronologiques et géographiques dans les régimes alimentaires (Hendy *et al.*, 2018b ; Wilkin *et al.*, 2020 ; Bleasdale *et al.*, 2021). Les études sur le tartre dentaire tendent à se concentrer sur quelques dizaines d'individus, parfois quelques centaines, échantillonnés sur de vastes régions et de longues périodes (par ex. Wilkin *et al.*, 2020 ; Standeven *et al.*, 2025).

Perspectives : utilisation du calcium des restes osseux

Après quelques tentatives dans les années 2010 (Reynard *et al.*, 2010 ; 2011), un développement prometteur pour la détermination de la consommation de lait dans le

deciduous teeth. Tooth enamel displayed a +0.30‰ shift in $\delta^{44/42}\text{Ca}$ values after weaning (switch between a breast milk diet to a breast milk-free diet). This provided the basis for investigating nursing behaviours amongst early hominins (Tacail *et al.*, 2019). A recent study demonstrated that animal dairy intake could even be quantified using $\delta^{44/42}\text{Ca}$ values of ancient human bone (Tacail *et al.*, 2021). Analyses of skeletal remains from non-dairy and high dairy consumers displayed large differences in $\delta^{44/42}\text{Ca}$ values, with model-predicted milk intakes in line with known dietary histories of the communities investigated in the study. Tacail and co-workers thus demonstrated the scope of the Ca isotope proxy to quantify dietary dairy intakes at the individual level.

Aside from individuals from ethnographic collections, this approach has been applied on only 110 archaeological individuals so far, from populations with no access to dairying (Epipaleolithic and Mesolithic; $n = 25$) (Reynard *et al.*, 2010), to populations with various milk consumption habits, from the PPNB ($n = 41$) (Reynard *et al.*, 2010; Reynard *et al.*, 2013) to the European Neolithic ($n = 35$) and the British Iron Age ($n = 9$) (Reynard *et al.*, 2010; Hamilton *et al.*, 2013; Reynard *et al.*, 2013). Using a synthesis of this data, Tacail *et al.* (2021) proposed a correlation between $\delta^{44/42}\text{Ca}$ values (as a proxy for milk consumption) and time (10 kyr BP to 1 BP).

Advantages and limitations

The study of ancient DNA from human remains allows to assess the LP status at the individual level. Of course, aDNA study are contingent on aDNA preservation, with low temperature, rapid desiccation and high salt concentration contributing to favorable DNA preservation (Cappellini *et al.*, 2018). However, the LP status of an individual cannot be used to infer milk consumption, with epidemiological studies showing milk is also consumed by lactase non-persistent individuals (Evershed *et al.*, 2022). Direct evidence for milk consumption is much needed to paint a nuanced picture of the evolution of LP. However, the study of dental calculus is laced with biases. A few years ago, Hendy *et al.* (2018b) highlighted that “the detection of dietary proteins [...] appears to be serendipitous, and at best, a method for confirming the consumption of particular foods at the population level, rather than investigating particular dietary differences between individuals.” The development of the calcium proxy holds a lot of promise for the determination of milk consumption at the individual level. Tacail *et al.* (2021) identifies few avenues of investigation to develop this proxy for bioarchaeology, such as (1) to characterise comprehensively the variability of the Ca isotope composition of dietary sources; (2) to combine the analysis of faunal and human remains at the site-level; (3) to calibrate the proxy using other dietary indicators, such as lipids from pottery and bulk and compound-specific analysis of collagen. In the coming years, this Ca proxy is set to bring some novel insights into milk consumption in the past and its link to lactase persistence.

passé est venu de l'analyse de la composition isotopique du calcium (Ca) des os humains (Tacail *et al.*, 2021). Le lait animal est une source majeure de Ca alimentaire, avec des concentrations en Ca dans le lait de ruminant variant entre 1 et 2 g/kg et dans le fromage entre 3 et 12 g/kg. En revanche, la concentration en Ca dans la viande est d'environ 0,15 mg/kg et de 0,25 mg/kg pour les céréales (Tacail *et al.*, 2021). De plus, le Ca du lait et des produits laitiers est facilement assimilé et fixé dans les os, car ces produits sont également une source de vitamine D favorisant l'absorption intestinale et la rétention du Ca (Guéguen et Pointillart, 2000). Les principales sources alimentaires de Ca pour les humains ont des valeurs de $\delta^{44/42}\text{Ca}$ distinctes (proportion de ^{44}Ca par rapport au ^{42}Ca , mesurée par rapport à un standard). Un fractionnement d'environ -0,6 ‰ est notamment observé entre le Ca alimentaire et le Ca excrété par le lait chez les brebis, les bovins et les humains, entraînant des valeurs $\delta^{44/42}\text{Ca}$ plus faibles dans les produits laitiers et le lait maternel par rapport à la viande ou aux céréales. L'abondance du Ca dans le lait et sa composition isotopique spécifique en font un marqueur idéal lors de l'analyse d'ossements humains. En effet, la compilation des valeurs de $\delta^{44/42}\text{Ca}$ des os de six espèces animales (Tacail *et al.*, 2020) a démontré que le Ca de l'os affiche systématiquement des valeurs $\delta^{44/42}\text{Ca}$ plus faibles que le Ca alimentaire, d'environ $-0,57 \pm 0,10$ ‰. Ce changement dans la composition isotopique du Ca des tissus minéralisés riches en Ca (c'est-à-dire dans la phase minérale de l'os – l'hydroxyapatite – ainsi que dans l'émail et la dentine) résulte d'un fractionnement isotopique survenant pendant le traitement physiologique et la fixation du Ca dans les os. La composition isotopique du Ca des tissus minéralisés riches en calcium peut donc être utilisée pour reconstruire les régimes alimentaires chez les vertébrés (Tacail *et al.*, 2020).

Il a été démontré que la valeur de $\delta^{44/42}\text{Ca}$ caractéristique du lait est enregistrée dans l'émail des dents décidentales humaines (Tacail *et al.*, 2017). L'émail dentaire a montré un enrichissement de +0,30 ‰ dans les valeurs de $\delta^{44/42}\text{Ca}$ après le sevrage (passage d'un régime à base de lait maternel à un régime sans lait maternel), fournissant une base pour étudier les comportements d'allaitement chez les hominines anciens (Tacail *et al.*, 2019). Une étude récente a par ailleurs démontré que la consommation de produits laitiers animaux pouvait être quantifiée en utilisant les valeurs de $\delta^{44/42}\text{Ca}$ des os humains fossiles (Tacail *et al.*, 2021). L'analyse comparée de restes osseux appartenant à des individus ne consommant pas de produits laitiers et d'individus qui, au contraire, en faisaient une forte consommation a montré de grandes différences dans les valeurs de $\delta^{44/42}\text{Ca}$, avec des apports en lait prédits par le modèle en accord avec les historiques alimentaires connus des communautés étudiées. Tacail et ses collaborateurs ont ainsi démontré l'intérêt du proxy isotopique du Ca pour quantifier les apports alimentaires en produits laitiers à l'échelle de l'individu.

À ce jour, en dehors des individus issus de collections ethnographiques, cette approche a été appliquée à seulement 110 individus archéologiques issus de populations

MILK PRODUCTION, MILK USE AND CONSUMPTION BY EARLY FARMERS FROM THE NEAR EAST TO WESTERN EUROPE

In the following sections, we have chosen to focus on few regions, mainly due to the richness of available datasets linked to milk production and milk use. The review below is not intended to be comprehensive, but, through selected cases, should provide the reader with some important perspectives regarding the investigation of prehistoric milk exploitation using multi-proxy approaches.

The Levant and Anatolia

As the domestication of cattle, sheep and goats was pioneered in the Levant by the 8th millennium BCE (Ducos, 1993; Garrard *et al.*, 1996; Clutton-Brock, 1999), this region has been the focus of many studies to investigate the timing of milk exploitation with domestication. However, faunal assemblages are typically small and highly fragmented, and thus reconstructing slaughtering profiles is challenging. During the Middle and Late Pre-Pottery Neolithic B (PPNB) in the Near East, kill-off profiles show clear evidence for the exploitation of cattle and sheep/goats for milk, in addition to meat (Vigne and Helmer, 2007). The construction of kill-off patterns is crucial in this period where other sources of evidence of milk exploitation, such as milk use in pottery are unavailable due to the absence of pottery fragments at sites. Study of $\delta^{44/42}\text{Ca}$ values from PPNB individuals (Abu Hureyra 2, Syria; Asikli Hoyuk, Turkey; Bouqras, Syria) suggest a limited consumption of Ca from dairy products (Reynard *et al.*, 2010; Tacail *et al.*, 2021).

Pottery Neolithic faunal assemblages in the Levant and Anatolia show a trend towards mixed subsistence practices with kill-off profiles showing that milk is obtained from both cattle and sheep/goats (Vigne and Helmer, 2007). The study of organic residues from pottery in the region is hampered by poor preservation leading to low recovery rates (ca. 6% in the Levant and 13% in Anatolia; Evershed *et al.*, 2008b). Nevertheless, milk fat residues were detected in low proportions at the site of Tell Sabi Abyad (Syria; 20% of the exploitable lipid residues), dating from the first half of the 7th millennium (Evershed *et al.*, 2008b; Nieuwenhuys *et al.*, 2015). Milk use was detected in the central Anatolian site of Çatalhöyük (8th-7th millennia) although the incidence of dairy fat residues was low (10%; Evershed *et al.*, 2008b). Proteins from six calcified deposits also pointed at dairy use in Çatalhöyük, with milk coming from cattle, sheep and goats (Hendy *et al.*, 2018a). The archaeozoological studies at Çatalhöyük agree with the findings from pottery analyses, with the animal assemblage showing that sheep and goats were killed as subadults and young adults, emphasising a herding strategy directed towards meat and thus non-intensive exploitation of milk at the site. In northwestern Anatolia, based on analyses of more

sans accès à la production laitière (Épipaléolithique et Mésolithique ; $n = 25$: Reynard *et al.*, 2010) ou, au contraire, avec des habitudes variées de consommation de lait, du PPNB ($n = 41$: Reynard *et al.*, 2010 ; Reynard *et al.*, 2013) au Néolithique européen ($n = 35$) et à l'Âge du Fer britannique ($n = 9$: Reynard *et al.*, 2010 ; Hamilton *et al.*, 2013 ; Reynard *et al.*, 2013). À partir de ces données, Tacail et collaborateurs (2021) ont proposé l'existence d'une corrélation entre les valeurs de $\delta^{44/42}\text{Ca}$ (comme proxy de la consommation de lait) et le temps (de -10 000 ans jusqu'au présent).

Avantages et limitations

L'étude de l'ADN ancien des restes humains permet d'évaluer le statut de persistance de la lactase (LP) à l'échelle de l'individu. Bien sûr, les études d'ADN ancien sont dépendantes de la conservation de l'ADN, des basses températures associées à une déshydratation rapide ainsi qu'une forte concentration en sel constituant des facteurs favorables (Cappellini *et al.*, 2018). Cependant, le statut LP d'un individu ne peut pas être utilisé pour inférer la consommation de lait, des études épidémiologiques montrant que le lait est également consommé par des individus non persistants pour la lactase (Evershed *et al.*, 2022). Des preuves directes de consommation de lait sont donc nécessaires pour dresser un tableau nuancé de l'évolution de la LP. Cependant, l'étude du tartre dentaire est biaisée. Il y a quelques années, Hendy *et al.* (2018b) ont en effet souligné que « la détection des protéines alimentaires [...] semble être aléatoire et, au mieux, constituer une méthode plus efficace pour confirmer la consommation de certains aliments au niveau de la population que pour étudier des différences alimentaires spécifiques entre individus ». Le développement de l'étude du calcium en tant que marqueur offre beaucoup de promesses pour la détermination de la consommation de lait au niveau de l'individu. Tacail *et al.* (2021) identifient quelques axes de recherche pour développer ce proxy en bioarchéologie, proposant notamment (1) de caractériser de manière exhaustive la variabilité de la composition isotopique du Ca des sources alimentaires, (2) de combiner l'analyse des restes fauniques et humains au niveau du site et (3) d'étalonner le proxy en utilisant d'autres indicateurs alimentaires, tels que les lipides de la poterie et les analyses globales et spécifiques par composé du collagène. Une telle approche promet, dans les années à venir, d'apporter des données inédites sur la consommation de lait dans le passé et son lien avec la persistance de la lactase.

PRODUCTION, UTILISATION ET CONSOMMATION DU LAIT PAR LES PREMIERS AGRICULTEURS : DU PROCHE-ORIENT À L'EUROPE DE L'OUEST

Dans les lignes qui suivent, nous avons choisi de nous concentrer sur certaines régions au regard de la

than 700 sherds, >100 sherds contained detectable lipid residues, of which *ca.* 70% were shown to be dairy fat residues. Thus, milk processing was intensively undertaken around the sea of Marmara (Turkey) between 6500-5000 BCE (Evershed *et al.*, 2008b; Thissen *et al.*, 2010; Özbal *et al.*, 2012; Özbal *et al.*, 2013a and b). As the proportion of cattle bones is considerably higher in the sites from northwestern Anatolia (between 40 and 90% of the assemblages, by weight), the presence of cattle at sites and milk exploitation was reasonably correlated (Evershed *et al.*, 2008b).

Balkans, Central and northwestern Mediterranean

Caprines (sheep/goats) typically dominate the faunal assemblage at sites from the Balkans to the NW Mediterranean seaboard (Manning *et al.*, 2013). Archaeozoological studies mainly focused on sheep/goats. Late 7th millennium and 6th millennium profiles from the Balkans show a wide variety of management strategies, with 3 profiles out of 4 being mixed or dairy profiles. Species-specific kill-off profiles for sheep and goats synthesised and analysed by Gillis *et al.* (2019) provide a more accurate representation of the exploitation of those species. Goat profiles were usually inconclusive due to small faunal assemblages. Sheep are exploited for dairying and meat, possibly on a small scale and as part of a pastoral economy (Gillis *et al.*, 2019). The study of 10 contemporaneous archaeological sites demonstrated a breeding season for sheep restricted to 3 to 4 months. Births occur late winter-early summer at latitudes 43°N to 48°N (including in the Balkans and northern Mediterranean), while later births are observed at higher latitudes (Balasse *et al.*, 2017; Balasse *et al.*, 2020). Autumnal lambing is attested in the northwestern Mediterranean Neolithic (Tornero *et al.*, 2020; Fabre *et al.*, 2023; Chemineau *et al.*, 2025). Studies on calving birthing season using isotope analysis in the region revealed that cattle births were seasonal (Balasse *et al.*, 2021). Environmental factors (such as drastic changes in food availability) and herding practices have both determined the calving pattern, thus constraining the availability of cattle milk. Milk exploitation was also detected using lipid residue analysis (Ethier *et al.*, 2017; Evershed *et al.*, 2022), particularly in the north of the Balkan peninsula corroborating archaeozoological studies. Little or no evidence for Neolithic milk use was detected in the south of the Balkan peninsula (Whelton *et al.*, 2018), although it is possible that perishable containers were used for milk processing in this context (Evershed *et al.*, 2022). In northwestern Mediterranean Europe (*Impressa*, Cardial and Epicardial sites from southern France and southern Italy, 6th millennium), slaughtering profiles for sheep and goats from mainly show dairy or mixed (meat and milk) strategies (80% of the profiles). Milk use is also attested, particularly at sites in southern Italy and southwestern France (Debono Spiteri *et al.*, 2016; Cubas *et al.*, 2020; Drieu *et al.*, 2021; Evershed *et al.*, 2022). At Font-Juvénal, where

richesse des jeux de données disponibles liés à la production et à l'utilisation du lait. La synthèse qui en découle n'a pas pour but d'être exhaustive, mais, à travers les cas sélectionnés, offre au lecteur un panorama éclairant de l'étude de l'exploitation préhistorique du lait à l'aide d'approches multi-proxy.

Le Levant et l'Anatolie

La domestication des bovins, ovins et caprins ayant été pionnière dans le Levant dès le 8^e millénaire av. J.-C. (Ducos, 1993 ; Garrard *et al.*, 1996 ; Clutton-Brock, 1999), cette région a fait l'objet de nombreuses études visant à déterminer la période à laquelle l'exploitation du lait a commencé, parallèlement à la domestication. Cependant, les assemblages fauniques sont généralement réduits et très fragmentés, rendant la restitution des profils d'abattage difficile. Au Proche-Orient, pendant le Néolithique pré-céramique B moyen et récent (PPNB), les profils d'abattage montrent des indices clairs de l'exploitation des bovins et des ovins/caprins pour le lait, en plus de la viande (Vigne et Helmer, 2007). La construction de profils d'abattage est essentielle pour cette période, en l'absence d'autres types de sources, comme les fragments de poterie, non documentés sur les sites. L'étude des valeurs de $\delta^{44/42}\text{Ca}$ d'individus du PPNB (Abu Hureyra 2, Syrie ; Asikli Höyük, Turquie ; Bouqras, Syrie) suggère une consommation limitée de calcium provenant des produits laitiers (Reynard *et al.*, 2010 ; Tacail *et al.*, 2021).

Les assemblages fauniques du Néolithique à céramique au Levant et en Anatolie montrent une tendance vers des pratiques de subsistance mixtes, avec des profils d'abattage indiquant que le lait est obtenu à la fois des bovins et des ovins/caprins (Vigne et Helmer, 2007). L'étude des résidus organiques de la poterie est entravée dans la région par une mauvaise conservation, entraînant de faibles taux de récupération (environ 6 % au Levant et 13 % en Anatolie : Evershed *et al.*, 2008b). Néanmoins, des résidus de graisses laitières ont été détectés en faible proportion sur le site de Tell Sabi Abyad (Syrie ; 20 % des résidus lipidiques exploitables), contemporain de la première moitié du 7^e millénaire (Evershed *et al.*, 2008b ; Nieuwenhuyse *et al.*, 2015). L'utilisation du lait a été détectée dans le site anatolien central de Çatalhöyük (8^e-7^e millénaires), bien que l'incidence des résidus de graisses laitières soit faible (10 % : Evershed *et al.*, 2008b). L'étude de protéines issues de six dépôts calcifiés a également permis de documenter une utilisation de produits laitiers à Çatalhöyük, avec du lait provenant de bovins, ovins et caprins (Hendy *et al.*, 2018a). Les résultats des études archéozoologiques menées à Çatalhöyük sont en accord avec les découvertes issues de l'analyse de la céramique, l'assemblage faunique montrant en effet un abattage d'ovins et de caprins immatures ou jeunes adultes compatible avec une stratégie d'élevage orientée vers la viande et donc vers une exploitation non intensive du lait sur le site. En Anatolie du Nord-Ouest, l'analyse de plus de 700 tessons a montré que plus d'une centaine d'entre eux contenaient des résidus lipidiques détectables,

both archaeozoological methods and lipid residue analyses were adopted (Debono Spiteri *et al.*, 2016).

The British Isles

Milk is exploited in the British Isles as soon as the first farming populations settled in Great Britain (Copley *et al.*, 2003 ; Copley *et al.*, 2005b) and Ireland (Smyth and Evershed, 2016). The abundance of milk residues in pottery suggest that dairy was an important component of farming practices in the British Isles from the onset of farming. Further studies demonstrated that dairy stayed important in the following periods (Copley *et al.*, 2005a ; Copley *et al.*, 2005c ; Cramp *et al.*, 2014). Population from Danebury (Iron Age) consumed high quantities of milk ; as shown by low $\delta^{44/42}\text{Ca}$ values consistent with around 55% (median) of Ca coming from dairy (Tacail *et al.*, 2021).

As a testimony to the importance of dairy in the British Isles, "bog butters" are regularly discovered in peat bogs from Scotland and Ireland. These waxy deposits wrapped up in animal bladder or wooden containers were first documented in the 17th century, and to date, around 500 specimens have been uncovered (Smyth *et al.*, 2019). The molecular and isotope analysis of > 30 of them have revealed that they were indeed butter in Ireland (Smyth *et al.*, 2019) and parts of Scotland (Berstan *et al.*, 2004), while some samples from the Faroe Islands (northern Scotland) identified as ruminant tallow. Direct ^{14}C dating of bog butters from Ireland provided evidence for a long-lived tradition of deposition, spanning from the Early Bronze Age (*ca.* 1700 BCE) to the 17th century CE (Smyth *et al.*, 2019). Although the reasons behind the deposition of large amount of butter in bogs is under debate (the largest specimen is 23 kg!), historical records suggest it was done either out of necessity or for flavour (Smyth *et al.*, 2019). These finds are stunning examples of milk processing in the past. Recovering such large amounts of archaeological animal fats is so unique that two specimens have been chosen as radiocarbon standards for compound-specific ^{14}C analysis (Casanova *et al.*, 2020 ; Casanova *et al.*, 2021b).

Central Europe (*Linearbandkeramik* culture)

Cattle usually dominate the faunal assemblage at early farming sites from the *Linearbandkeramik* (LBK) culture (Manning *et al.*, 2013 ; Manning, 2016). Early work by Bogucki (1982) at the site of Brześć Kujawski in the Polish lowlands (5th millennium) showed that most of the cattle were slaughtered after their 48th month. The presence of sieves at the site, hypothesised to have been used as cheese-strainers, complete Bogucki's arguments relating to an early emergence of dairying (Bogucki, 1982 ; 1984). An extensive analysis of mortality profiles based on age-at-death for cattle from sites spanning across the geographical distribution of the LBK culture (from the Paris basin to eastern Hungary) was undertaken (Gillis *et al.*, 2017). Cattle husbandry was found to be rather homogenous across the 19 archaeological sites inves-

dont près de 70 % ont été identifiés comme des résidus de graisses laitières. Ainsi, la transformation du lait a été intensivement pratiquée autour de la mer de Marmara (Turquie) entre 6500 et 5000 av. J.-C. (Evershed *et al.*, 2008b ; Thissen *et al.*, 2010 ; Özbal *et al.*, 2012 ; Özbal *et al.*, 2013a, b). La proportion d'os de bovins étant bien plus élevée dans les sites d'Anatolie du Nord-Ouest (entre 40 et 90 % du poids total des assemblages), la présence de bovins sur les sites et l'exploitation du lait ont été raisonnablement corrélées (Evershed *et al.*, 2008b).

Les Balkans, l'Europe centrale et la Méditerranée nord-occidentale

Des Balkans à la côte méditerranéenne nord-occidentale, les caprins (moutons/chèvres) dominent généralement les assemblages fauniques au sein des ensembles archéologiques (Manning *et al.*, 2013). Les études archéozoologiques se sont principalement concentrées sur les moutons et chèvres. Les profils d'abattage identifiés dans les Balkans au cours de la fin du 7^e millénaire et du 6^e millénaire av. J.-C. montrent une grande variété de stratégies de gestion, 3 profils sur 4 pouvant être considérés comme « mixtes » ou « laitiers ». Les profils de mortalité spécifiques aux moutons et aux chèvres, synthétisés et analysés par Gillis *et al.* (2019), offrent une image plus précise de l'exploitation des ovins et caprins. Si les profils restitués pour les chèvres sont peu significatifs en raison de la faiblesse numérique des assemblages fauniques analysés, les analyses montrent que les moutons sont exploités pour la production laitière et la viande, sans doute à petite échelle et dans le cadre d'une économie pastorale (Gillis *et al.*, 2019). L'étude de plusieurs sites contemporains ($n = 10$) a démontré une saison de reproduction pour les moutons restreinte à 3 ou 4 mois. Pour les latitudes situées entre 43° N à 48° N (comprenant les Balkans et la Méditerranée nord), les naissances ont lieu entre la fin de l'hiver et le début de l'été, tandis qu'à des latitudes plus élevées, des naissances plus tardives sont observées (Balasse *et al.*, 2017b ; Balasse *et al.*, 2020). Des agnelages automnaux sont en effet attestés pour le Néolithique méditerranéen (Tornerio *et al.*, 2020 ; Fabre *et al.*, 2023 ; Chemineau *et al.*, 2025). Des études menées régionalement sur la saison des vêlages à partir de l'analyse isotopique ont montré le caractère saisonnier des naissances de bovins (Balasse *et al.*, 2021). Les facteurs environnementaux (comme les fluctuations marquées dans les ressources fourragères) et les pratiques d'élevage ont tous deux influencé le moment de vêlage, conditionnant de ce fait la disponibilité du lait de vache. L'exploitation du lait a également été détectée par analyse des résidus lipidiques (Ethier *et al.*, 2017 ; Evershed *et al.*, 2022), en particulier dans le nord de la péninsule balkanique, corroborant les études archéozoologiques. En revanche, peu, voire aucune preuve de l'utilisation du lait au Néolithique n'a été détectée dans le sud de la péninsule balkanique (Whelton *et al.*, 2018), bien qu'il soit possible que des contenants périssables aient été utilisés pour la transformation du lait (Evershed *et al.*, 2022).

tigat, with statistical comparison to reference age-at-death profile indicating that cattle were managed for both meat and milk production. Sheep do not seem to have been exploited for their milk (Gillis *et al.*, 2019). The level of milk production in these LBK communities was not intensive. This is also shown by the study of human remains, where the proportion of Ca coming from milk in skeletal remains from individuals from two LBK sites (Balatonszárszó, Hungary; Ensisheim, France) is predicted to be close to 25% (Reynard *et al.*, 2010; Hamilton *et al.*, 2013; Tacail *et al.*, 2021).

The proportion of vessels with dairy residues in the LBK is also rather low (Evershed *et al.*, 2022; Smyth *et al.*, 2023). The analysis of 4,327 pottery sherds from 70 sites across the geographical and temporal distribution of the LBK (Evershed *et al.*, 2022) showed that 1,413 sherds from 61 sites contained animal fat residues. From those, 353 vessels from 46 sites were identified as containing dairy fats (Dudd and Evershed, 1998; Copley *et al.*, 2003; Evershed *et al.*, 2008b based on the stable C isotope composition of the main fatty acids). Overall, less than 25% of the LBK sherds containing animal fats were identified as containing dairy residues. Similarly, milk use was detected in only 3 in 4 LBK sites investigated here. Direct ¹⁴C dating of milk residues (Casanova *et al.*, 2020) provided further information on the timing of milk use in the LBK (Casanova *et al.*, 2021a). The frequency of milk use at LBK sites in Central Europe is consistently lower than the southeast, west or north of Europe (Evershed *et al.*, 2022). The spatial trends in milk use across the LBK raise questions regarding the spread and adoption of milk exploitation amongst those early farmers of Central Europe.

While milk processing is difficult to detect at archaeological sites, specific pot shapes amongst the LBK pottery repertoire attracted considerable attention in the 1980s (Bogucki, 1982; 1984) as they were hypothesised to be used in the transformation of milk into cheese. Fragments of pottery pierced with small holes (2-3 mm diameter) are seldomly recovered from central European LBK sites. Rimsherds and bases are rare, making it generally difficult to reconstruct the entire vessel, however, some bell-shapes have been suggested (Bogucki, 1984a and references therein). A bigger hole is often present at the base of the vessels (Poplin, 1980; Grygiel, 2004). The most widely accepted interpretation is that these perforated vessels are sieves. Although sieves have mainly been described in LBK settlements, they have been excavated from other prehistoric contexts in central Europe. They are found at low frequencies in other Early Neolithic cultures such as the SBK, Lengyel and Rössen and in Middle Neolithic cultures, notably the TRB, Michelsberg and Cortaillod (Bogucki, 1984). Some sieves have also been recovered from *Chasséen* contexts (Middle Neolithic; Pélouard and Courtin, 1971; Poplin, 1980). Sieves appear during the Late Neolithic around Lake Clairvaux, at La Motte-aux-Magnins V (Baudais *et al.*, 1986: 178; Pétrequin *et al.*, 1987) and are present until the Early Bronze Age. Many authors have hypothesised that the perforated vessels excavated from Bronze Age, Iron Age

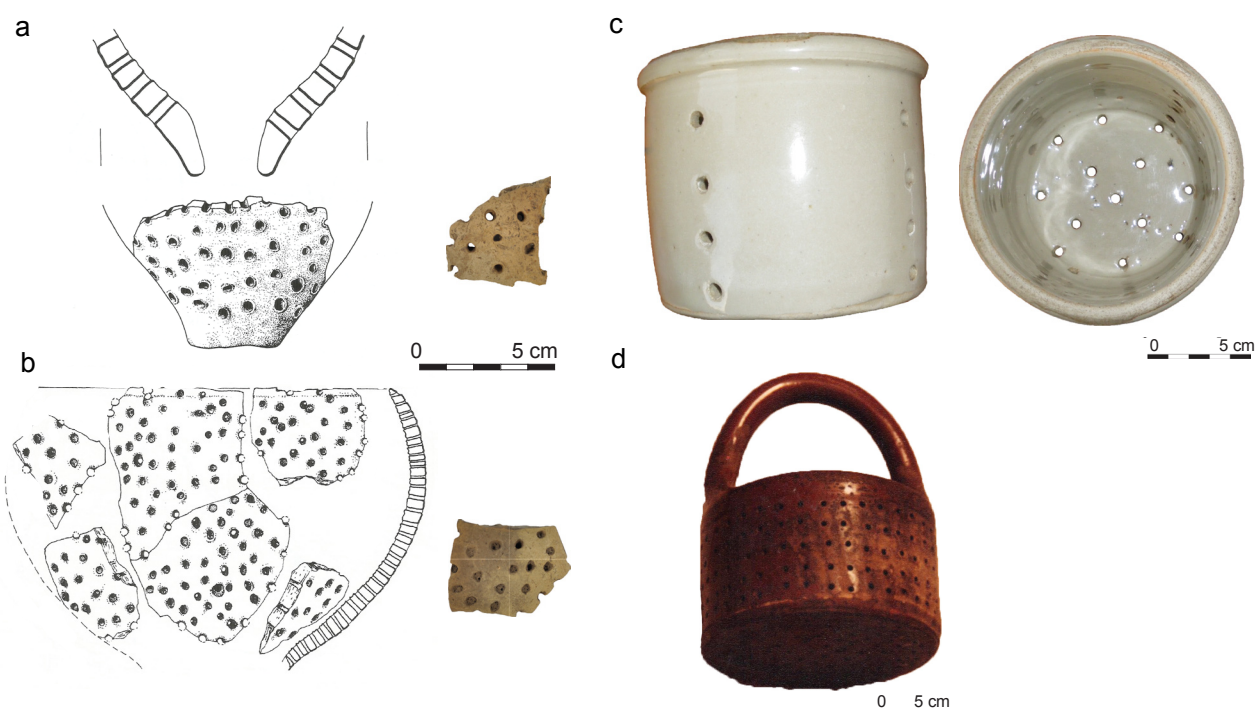


Fig. 5 – a-b, dessins de faisselles reconstituées et photographies de fragments de faisselles provenant de la région de Kuyavie. Faisselles à fromage ethnographiques en céramique émaillée de Haute-Loire (c, France, début du xx^e siècle) et du Vermont (d, États-Unis, xix^e siècle ; image reproduite avec l'aimable autorisation de Jean Whitnack). Adapté de Salque *et al.* (2013).

Fig. 5 – a-b, drawings of reconstructed sieve vessels and photographs of specific sieve fragments from the region of Kuyavia. Ethnographic cheese strainers made of glazed ceramic: c, from Haute-Loire (France, beginning of the 20th century) and d, from Vermont (USA, 19th century, courtesy of Jean Whitnack). Adapted from Salque *et al.* (2013).

En Europe méditerranéenne nord-occidentale (*Impressa*, Cardial et Épicardial, sites du sud de la France et du sud de l'Italie, 6^e millénaire), les profils de mortalité pour les moutons et les chèvres montrent des stratégies essentiellement laitières ou mixtes (viande et lait), à hauteur de 80 % des profils. L'utilisation du lait est également attestée, en particulier sur les sites du sud de l'Italie et du sud-ouest de la France (Debono Spiteri *et al.*, 2016 ; Cubas *et al.*, 2020 ; Drieu *et al.*, 2021 ; Evershed *et al.*, 2022). À Font-Juvénal, où les deux méthodes d'analyse ont été adoptées, la production et l'utilisation du lait semblent corrélées (Debono Spiteri *et al.*, 2016).

Les îles Britanniques

Le lait est exploité dans les îles britanniques dès l'installation des premières populations agricoles en Grande-Bretagne (Copley *et al.*, 2003 ; Copley *et al.*, 2005b) et en Irlande (Smyth et Evershed, 2016). L'abondance des résidus laitiers dans les céramiques suggère que les produits laitiers étaient un composant important des pratiques agricoles dès le début de l'agriculture. D'autres études ont démontré que les produits laitiers sont restés importants au cours des périodes suivantes (Copley *et al.*, 2005a ; Copley *et al.*, 2005c ; Cramp *et al.*, 2014). La population de Danebury (Âge du Fer) consommait de grandes quantités de lait, comme en témoignent les faibles valeurs de $\delta^{44/42}\text{Ca}$, cohérentes avec environ 55 %

(Clark, 1952 and references therein) and Middle Neolithic (Poplin, 1980) sites were used to separate the curds from the whey during cheese-making. This hypothesis was explored and developed by Bogucki (1984) for the LBK sieves. This hypothesis was formulated based in the shared typology between archaeological sieves and modern/ethnographic sieves (Fig. 5), and the archaeozoological evidence for milk production at sites where sieves are found. Early lipid residue analysis of sieves have focused on the relative abundance of fatty acids to reference modern oils and animal fats (Rottländer, 1990; Bourgeois and Gouin, 1995). Such approach is now known to be an unreliable proxy for the origin of ancient fats, as fatty acid distributions are known to be affected by long-term burial (e.g. den Dooren De Jong *et al.*, 1961; Mills and White, 1994; Dudd and Evershed, 1998; Dudd *et al.*, 1998). The analysis of 50 LBK sieve fragments representing 34 individual sieves from the region of Kuyavia in Poland demonstrated the presence of milk residues in the clay fabric thanks to $\delta^{13}\text{C}$ values of animal fats (Salque *et al.*, 2013). The presence of milk residues in such perforated vessels points towards milk processing and more particularly cheese-making in this region between around 5,200 and 4,900/4,800 cal. BCE. This constitutes the earliest evidence for cheese-making in Europe. With the limited availability of milk across the year as revealed through the study of calving time in Prehistoric Europe (Balasse *et al.*, 2021), cheese-making would have allowed milk to

(médiane) de calcium provenant des produits laitiers (Tacail *et al.*, 2021).

Témoins de l'importance des produits laitiers dans les îles britanniques, des « beurres de tourbière » sont régulièrement découverts dans les tourbières d'Écosse et d'Irlande. Ces dépôts cireux enveloppés dans des vessies animales ou des contenants en bois ont été documentés pour la première fois au 17^e siècle et, à ce jour, environ 500 spécimens ont été découverts (Smyth *et al.*, 2019). L'analyse moléculaire et isotopique de plus de 30 d'entre eux a révélé qu'il s'agissait effectivement de beurre en Irlande (Smyth *et al.*, 2019) ainsi que dans certaines parties de l'Écosse (Berstan *et al.*, 2004), tandis que certains échantillons issus des îles Féroé (nord de l'Écosse) ont été identifiés comme du suif de ruminant. La datation directe au ¹⁴C des beurres de tourbière d'Irlande a fourni des preuves d'une tradition de dépôt sur le temps long, s'étendant du début de l'Âge du Bronze (vers 1700 av. J.-C.) jusqu'au 17^e siècle ap. J.-C. (Smyth *et al.*, 2019). Bien que les raisons du dépôt de grandes quantités de beurre dans les tourbières fassent aujourd'hui débat (le plus grand spécimen pèse 23 kg !), les sources historiques suggèrent que cela a pu être motivé soit par une nécessité, soit pour des raisons gustatives (Smyth *et al.*, 2019). Ces découvertes constituent des exemples remarquables de la transformation du lait dans le passé. La récupération de telles quantités de graisses animales archéologiques est si unique que deux spécimens ont été choisis comme standards d'âge connus pour la datation radiocarbone de composés individuels (Casanova *et al.*, 2020 ; Casanova *et al.*, 2021b).

L'Europe centrale (culture Rubanée ou LBK)

Les bovins dominent généralement les assemblages fauniques associés aux premiers sites agricoles de la culture Rubanée (LBK : Linearbandkeramik ; Manning *et al.*, 2013 ; Manning, 2016). Les premiers travaux de Bogucki (1982) sur le site de Brześć Kujawski dans les basses terres polonaises (5^e millénaire) ont montré que la majorité des bovins étaient abattus après leur 48^e mois. La présence de faisselles sur le site, potentiellement utilisés comme faisselle à fromage, complète les arguments de Bogucki concernant une émergence précoce de la production laitière (Bogucki, 1982 ; 1984). Une analyse approfondie des profils de mortalité de bovins issus de gisements distribués sur toute l'aire de répartition de la culture LBK (c'est à dire du bassin parisien à l'est de la Hongrie) a récemment été entreprise (Gillis *et al.*, 2017). L'élevage des bovins s'est avéré plutôt homogène à travers les 19 sites archéologiques étudiés, les comparaisons statistiques avec des profils de référence indiquant une gestion tournée vers la production de viande et de lait. De leur côté, les brebis ne semblent pas avoir été exploités pour leur lait (Gillis *et al.*, 2019). Le niveau de production laitière dans ces communautés LBK n'était pas intensif, comme le montre également l'étude des restes humains, pour lesquels la proportion de calcium provenant du lait dans les restes osseux de deux individus (Balatonszárszó,

be transformed into a more storable and easy-to-handle product with a long shelf-life that can be consumed all year round. Cheese-making would also have reduced the lactose content of milk. Those sieves are extremely rare in the archaeological record, and it is not difficult to envisage that artefacts made in perishable material (e.g. bark or wicker) could have filled in the same function.

Lactase persistence allele selection

The geographical and temporal origins for the increase in frequency of the LP allele were hypothesized to correlate with the emergence of the *Linearbandkeramik* (LBK) culture, the first farmers in Central Europe, dated to ca. 5,500 BCE. The LP allele underwent a very strong selection amongst Neolithic dairy farmers (Bersaglieri *et al.*, 2004; Itan *et al.*, 2009). This recent positive selection of around 0.10 (dairy farmers with this variant are 10% more likely to survive than dairy farmers without the variant) approximated by computer simulations is amongst the strongest yet seen for any gene in the human genome (Bersaglieri *et al.*, 2004). Over the years, many hypotheses have been formulated in order to explain the strong selection undergone by the LP allele and the importance of being able to digest lactose in milk (Simoons, 1970; Flatz and Rotthauwe, 1973; Cook and al-Torki, 1975; Cook, 1978; Sherratt, 1981 in 1997; Durham, 1991; Guéguen and Pointillart, 2000), as summarised in Gerbault *et al.* (2011). The most widely cited hypothesis is the calcium assimilation hypothesis whereby milk supplements low vitamin D diets in regions with reduced ultraviolet B radiation (Simoons, 1970; McCracken, 1971b), although this does not explain the inferred high selection strengths in lower latitude regions (Walker and Thomas, 2019). In desert regions (e.g. Arabic peninsula), milk is a precious source of nutrients and pathogen-free fluid. Episodic selection for the LP allele would have occurred during gastrointestinal epidemics or food shortage, when milk would have been the major water and food source (Cook and al-Torki, 1975; Cook, 1978; Evershed *et al.*, 2022).

In any case, milk consumption is a prerequisite for the selection of LP allele. In order to test hypotheses regarding the evolution of the Eurasian LP allele 13,910*T Evershed *et al.* (2022) constructed a robust model comparison framework by using the temporal and geographical patterns of milk use. A total of >12k potsherds from 554 archaeological sites across Europe and southwestern Asia was used to map milk use through time and space using lipid residue analyses (Fig. 6; Evershed *et al.*, 2022). Through meta-analysis of published aDNA sequences from >3k individuals, it was inferred that the intensity of milk use did not on its own drive natural selection favouring the LP allele. Furthermore, by studying modern UK Biobank (Collins, 2012) data the presence of LP alleles was shown to have little effect on milk consumption or health indicators in contemporary populations. Consequently, consuming milk as a healthy lactase non-persistent (LNP) individual under normal circumstances would *not* have been sufficiently life-threatening to explain the

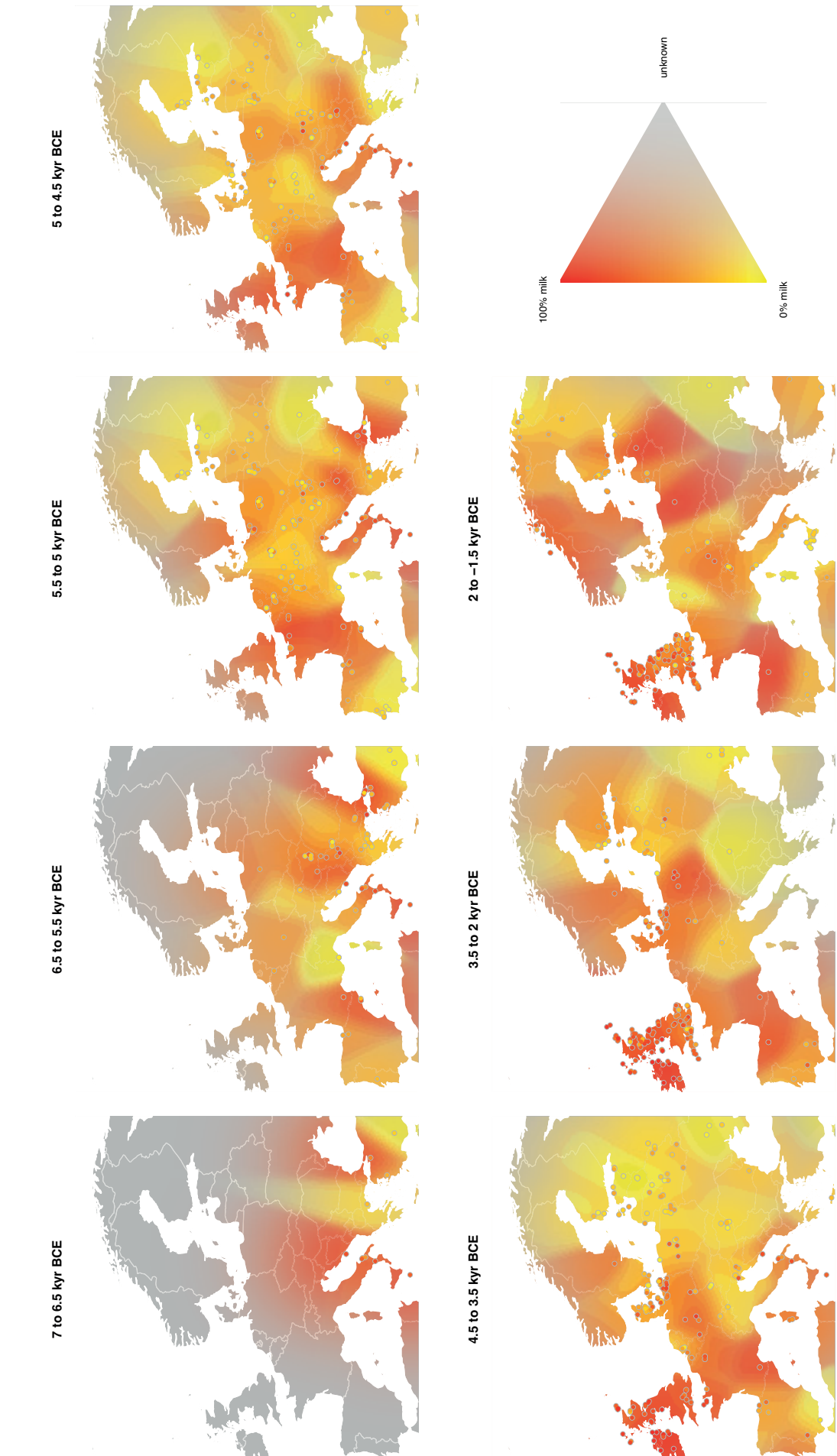


Fig. 6 – Variations régionales de la consommation de lait dans l'Europe préhistorique. Les sites pour lesquels les données sur l'utilisation de lait sont disponibles, obtenues à partir de résidus lipidiques, sont indiqués par des cercles. Les données ont été extrapolées pour chaque période (Evershed et al., 2022).

Fig. 6 – Regional variation in milk use in prehistoric Europe. Sites where data on milk use using lipid residues is available are circles. Data are interpolated for each time slices (Evershed et al., 2022).

Hongrie ; Ensisheim, France) est estimée à environ 25 % (Reynard *et al.*, 2010 ; Hamilton *et al.*, 2013 ; Tacail *et al.*, 2021).

La proportion de céramiques à résidus laitiers dans le LBK est également plutôt faible (Evershed *et al.*, 2022 ; Smyth *et al.*, 2023). L'analyse de 4327 tessons de poterie provenant de 70 sites localisés sur l'ensemble de l'aire de distribution géographique et temporelle du LBK (Evershed *et al.*, 2022) a montré que 1 413 d'entre eux, issus de 61 sites différents, contenaient des résidus de graisses animales. Parmi ceux-ci, 353 tessons issus de 46 sites ont été identifiés comme contenant des graisses laitières (Dudd et Evershed, 1998 ; Copley *et al.*, 2003 ; Evershed *et al.*, 2008b) sur la base de la composition isotopique stable en carbone des principaux acides gras. Globalement, moins de 25 % des tessons LBK contenant des graisses animales ont été identifiés comme contenant des résidus laitiers. De même, l'utilisation du lait a été détectée dans seulement 3 sites LBK sur les 4 étudiés. La datation directe au ^{14}C des résidus laitiers (Casanova *et al.*, 2020) a fourni des informations supplémentaires sur le période de l'utilisation du lait dans le LBK (Casanova *et al.*, 2021a). La fréquence de l'utilisation du lait est bien plus faible en Europe centrale que dans le sud-est, l'ouest ou le nord de l'Europe (Evershed *et al.*, 2022). Les tendances spatiales dans l'utilisation du lait à travers le LBK soulèvent des questions concernant la diffusion et l'adoption de son exploitation par les premiers agriculteurs d'Europe centrale.

Bien que la transformation du lait soit difficile à détecter sur les sites archéologiques, des formes de pots spécifiques parmi le répertoire de poterie LBK ont attiré une attention particulière dans les années 1980 (Bogucki, 1982 ; 1984), considérées comme potentiellement liées à la transformation du lait en fromage. Des fragments de poterie percés de petits trous (2 à 3 mm de diamètre) sont épisodiquement découverts au sein de gisements LBK d'Europe centrale. Les bords et les fonds sont rares, rendant généralement difficile la reconstruction du vase entier, mais certaines formes en cloche ont été suggérées (Bogucki, 1984a et références citées) ; une perforation de plus grand diamètre est souvent présente à la base (Poplin, 1980 ; Grygiel, 2004). L'interprétation la plus largement acceptée consiste à interpréter ces vases perforés comme des faisselles. Bien que ce type d'objet ait été principalement décrit dans des villages LBK, d'autres contextes préhistoriques d'Europe centrale en ont également livré. Ils sont par exemple présents, en faibles quantités, dans les autres cultures du Néolithique ancien (par ex. *Stroked Pottery Culture*, cultures Lengyel et Rössen) et dans des cultures du Néolithique moyen (par ex. *Trichterbecherkultur* ou TRB, Michelsberg et Cortaillod : Bogucki, 1984). Certaines faisselles ont également été découvertes dans des contextes Chasséens (Néolithique moyen ; Pérouard et Courtin, 1971 ; Poplin, 1980). Les faisselles apparaissent pendant le Néolithique récent autour du lac Clairvaux, à La Motte-aux-Magnins V (Baudais *et al.*, 1986 : 178 ; Pétrequin *et al.*, 1987), et sont présents jusqu'à l'Âge du Bronze

substantial levels of LP selection inferred in many studies. Hence, two related mechanisms for the evolution of LP were proposed:

(1) During prehistoric famines, the detrimental health consequences of LNP individuals consuming high-lactose products would be amplified, leading to high and episodic selection favouring LP (the “*crisis mechanism*”), and:

(2) the increased pathogen exposure (particularly zoonoses) associated with farming and increased population mobility and density would exacerbate the otherwise minor health effects in LNP individuals consuming milk (the “*chronic mechanism*”).

These hypotheses were tested using fluctuations in population size as a proxy for malnutrition exposure, and temporal variation in settlement density as a proxy for pathogen exposure. By linking these proxies to LP selection, it was shown that the observed LP genetic data was 100s of times more probable than by assuming selection was constant or driven by the extent of milk usage. Rather than milk use, LP selection is thus linked to latitude, population volatility and settlement density, which are proxies for conditions, subsistence economics and pathogen exposure.

CONCLUDING REMARKS: MULTI-PROXY APPROACHES FOR THE STUDY OF MILK EXPLOITATION IN THE PAST

The construction of detailed kill-off patterns and the application of new statistical tools for their interpretation (Gerbault *et al.*, 2016; Timpson *et al.*, 2018) has provided hitherto unattainable insights into animal management and herding practices. Similarly, the growing body of reference isotope studies (e.g. Blaise and Balasse, 2011; Balasse *et al.*, 2012; Balasse *et al.*, 2020), coupled with new archaeozoological data is enabling birthing seasonality and milk availability to be investigated (e.g. Balasse *et al.*, 2021). Large-scale studies using lipid residue analyses as a proxy for milk use have offered important insights into the geographical and temporal trends in milk use in Europe across Prehistory (Evershed *et al.*, 2022). The study of milk exploitation in the past is mainly driven by the appetite of researchers to study human-animal relationships and understand the increase in lactase persistence in human populations. A suite of methods is available to investigate milk production, milk use and milk consumption. Studies at the site, regional and continental levels are providing increasingly detailed information about milk exploitation. However, all the methods come with limitations, that be linked to the material studied or the type of information gained. Understanding the diversity of choices and practices in past human societies is challenging. Increasingly, the use of multiple lines of evidence, used in a complementary fashion, are shedding new light on various aspects of milk exploitation, e.g. at the LBK site of Ludwinowo (Smyth *et al.*, 2023) or in the northern Mediterranean (Debono Spiteri *et al.*, 2016). Further data-

ancien. De nombreux auteurs ont émis l'hypothèse que les vases perforés exhumés sur les sites de l'Âge du Bronze, de l'Âge du Fer (Clark, 1952 et références citées) et du Néolithique moyen (Poplin, 1980) étaient utilisés pour séparer le caillé du lactosérum lors de la fabrication du fromage. Cette hypothèse a été explorée et développée par Bogucki (1984) pour les faisselles LBK. Cette hypothèse a été formulée sur la base d'une comparaison entre la typologie des faisselles archéologiques et celle des faisselles modernes/ethnographiques (fig. 6), mais aussi à partir d'indices archéozoologiques d'une production laitière sur les mêmes sites. Les premières analyses des résidus lipidiques identifiés sur ces faisselles se sont concentrées sur l'abondance relative des acides gras par rapport aux huiles modernes et graisses animales (Rottländer, 1990 ; Bourgeois et Gouin, 1995). Nous savons aujourd'hui qu'une telle approche reste peu fiable pour déterminer l'origine des graisses anciennes dans la mesure où les distributions d'acides gras peuvent être affectées par l'enfouissement (par ex. den Dooren De Jong *et al.*, 1961 ; Mills et White, 1994 ; Dudd et Evershed, 1998 ; Dudd *et al.*, 1998). Dans la région de Kuyavie en Pologne, l'analyse de 50 fragments de faisselles LBK issus de 34 récipients distincts a montré la présence de résidus laitiers dans la matière argileuse en utilisant les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ (Salque *et al.*, 2013). La présence de résidus laitiers dans de tels vases perforés suggère des activités de transformation du lait et, plus particulièrement, de fabrication de fromage dans cette région entre environ 5200 et 4900/4800 av. J.-C. Cet exemple constitue la plus ancienne preuve de fabrication de fromage en Europe. Étant donné la disponibilité limitée du lait tout au long de l'année, telle que révélée par l'étude des périodes de vèlage en Europe préhistorique (Balasse *et al.*, 2021), la fabrication de fromage aurait permis de transformer le lait en un produit plus stable, facile à manipuler, avec une longue durée de conservation. La fabrication de fromage aurait également réduit la teneur en lactose du lait. Ces faisselles sont extrêmement rares dans le registre archéologique, et il n'est pas difficile d'envisager que des artefacts fabriqués en matériaux périssables (par ex. écorce ou osier) aient pu remplir la même fonction.

Sélection de l'allèle de persistance de la lactase

L'origine géographique et la temporalité de l'augmentation de la fréquence de l'allèle LP ont été corrélées avec l'émergence des premiers agriculteurs d'Europe centrale associés à la culture Rubanée (LBK), soit aux alentours de 5500 av. J.-C. L'allèle LP a subi une sélection très forte parmi les éleveurs laitiers néolithiques (Bersaglieri *et al.*, 2004 ; Itan *et al.*, 2009). Récente, cette sélection positive d'environ 0,10 (les éleveurs laitiers porteurs de ce variant ont 10 % de chances de survie supplémentaire par rapports à leurs homologues qui n'en sont pas porteurs), estimée à l'aide de simulations informatiques, est l'une des plus fortes jamais observées pour un gène

basing and data-mining of existing studies and integration of multiple lines of evidence on milk production, use and consumption will certainly offer further opportunities for investigating milk exploitation in the past.

Interdisciplinary studies have provided a strong basis for studying the link between milk use and recent changes in human biology, notably the emergence of the ability to digest lactose in adulthood. The study by Evershed *et al.* (2022) was performed at the population-level, with milk use assessed through pottery used at the household or community-level. However, mapping past milk *consumption* at the level of individual people would permit a considerably more nuanced understanding of the evolution of LP, and potentially other genetically-determined traits, notably those linked to vitamin D and calcium bioavailability (e.g. skin pigmentation). Individual-level milk consumption data will also allow exploration of LP's health consequences (including links to general nutritional status and pathogen exposure). Finally, such information would help to identify societal factors influencing access to milk, and – with the addition of individual age-at-death data – individual nutritional resilience and vulnerability during times of major booms and busts in population size (Colledge *et al.*, 2019).

Acknowledgements. Thank you to Richard P. Evershed whose tireless work on organic residue analysis has laid strong foundations for the field. Thank you also for welcoming me in the Organic Geochemistry Unit back in 2008, and inspiring me in developing a career in analytical chemistry. I am thankful to Jean-Denis Vigne who invited me to write this review. His work and passion have been a source of inspiration for me, and his continued support very precious. I would like to thank the isotope archaeozoologists Marie Balasse, Roz Gillis and Cheryl Makarewicz for all their insights. Geneticists and statisticians Mark Thomas, Adrian Timpson and Pascale Gerbault have been wonderful collaborators, giving another dimension to my research. Thanks to Théo Tacail for his trust and collaboration on anything calcium. Over the years, I have been lucky to be able to work with tens of archaeologists and ceramic specialists – they are the foundations of a large part of my research – I am grateful that they entrust me with precious heritage material for destructive analysis. My research would not be possible with the support from the NERC NEIF Facility, particularly Ian Bull, Helen Whelton and Iain Kendall; the School of Chemistry and the University of Bristol. Thank you to my colleagues and friends Lucy Cramp, Tim Knowles and Rich Pancost for the inspiring discussions. Past and present members of my group, post-doctoral researchers, PhD students, technicians, undergraduate students and summer students are thanked for all their hard work, creativity and resilience. To cite a few, Charlie Maule, Isabel Wiltshire, Izzy Davis, Sam Johns, Susanna Smith, Gywain Jones, Eugenia Geddes da Filicaia, Pierre-Jean Dodat, Jamie Lewis, Iman Abdelgani, Jada Northcott-Comer, Nelly Toporău-Cuzma, Phoebe Jones Barbour. Research is a massive team effort! Finally, my sincerest thanks to two anonymous reviewers for their suggestions which greatly improved this manuscript, and to the editors for their patience. This paper was prepared while I was funded by a Royal Society Dorothy Hodgkin Fellowship (DHF\R1\180064 and DHF\R\241006).

du génome humain (Bersaglieri *et al.*, 2004). Au fil des années, de nombreuses hypothèses ont été formulées pour expliquer la forte sélection subie par l'allèle LP et l'importance de la capacité à digérer le lactose contenu dans le lait (Simoons, 1970 ; Flatz et Rotthauwe, 1973 ; Cook et al-Torki, 1975 ; Cook, 1978 ; Sherratt, 1981 *in* 1997 ; Durham, 1991 ; Guéguen et Pointillart, 2000 ; pour un résumé, voir Gerbault *et al.*, 2011). L'hypothèse la plus répandue est celle de l'assimilation du calcium, selon laquelle le lait complète les régimes pauvres en vitamine D dans les régions à rayonnement ultraviolet B réduit (Simoons, 1970 ; McCracken, 1971a) ; cette hypothèse n'explique cependant pas les niveaux de sélection élevés mesurés dans les régions de basse latitude (Walker et Thomas, 2019). Dans les régions désertiques (par ex. péninsule Arabique), le lait est une source précieuse de nutriments et de liquide exempt de pathogènes. Une sélection épisodique pour l'allèle LP aurait pu se produire pendant des épidémies gastro-intestinales ou des pénuries alimentaires, lorsque le lait constituait probablement la principale source d'eau et de nourriture (Cook et al-Torki, 1975 ; Cook, 1978 ; Evershed *et al.*, 2022).

Dans tous les cas, la consommation de lait est un préalable à la sélection de l'allèle LP. Afin de tester les hypothèses concernant l'évolution de l'allèle LP eurasiatique 13 910*T, Evershed et ses collaborateurs (2022) ont mis en place un cadre robuste de comparaison des modèles en utilisant les modèles temporels et géographiques de l'usage du lait. Un total de plus de 12 000 tessons provenant de 554 sites archéologiques à travers l'Europe et l'Asie du Sud-Ouest a été sélectionné pour cartographier l'usage du lait à travers le temps et l'espace via l'analyse des résidus lipidiques (fig. 6 ; Evershed *et al.*, 2022). La méta-analyse de plus de 3 000 séquences d'ADN ancien publiées issues de plus de 3 000 individus a montré que l'intensité de l'utilisation du lait n'a pas, à elle seule, conduit à une sélection naturelle favorisant l'allèle LP. De plus, l'étude des données modernes de la UK Biobank (Collins, 2012), permet de démontrer que la présence des allèles LP a peu d'effet sur la consommation de lait ou sur les indicateurs de santé au sein des populations contemporaines. Par conséquent, la consommation de lait par une personne en bonne santé présentant une non-persistance de la lactase (LNP) et dans des conditions normales n'aurait pas constitué un danger suffisamment grave pour expliquer les niveaux importants de sélection de la LP mis en évidence dans de nombreuses études. Ainsi, afin d'expliquer l'évolution de la persistance de la lactase (LP), deux mécanismes liés ont été proposés :

- le « mécanisme de crise » : pendant les famines préhistoriques, les conséquences néfastes sur la santé des individus intolérants au lactose (LNP) consommant des produits à haute teneur en lactose auraient été amplifiées, entraînant une sélection élevée et épisodique favorisant la LP ;

- le « mécanisme chronique » : l'exposition accrue aux agents pathogènes (en particulier les zoonoses) associée à l'agriculture ainsi qu'à l'augmentation de la mobilité et à la densité croissante des populations aurait

aggravé les effets sur la santé, par ailleurs mineurs, chez les personnes présentant une intolérance au lactose (LNP) et consommant du lait.

Ces hypothèses ont été testées en utilisant les fluctuations de la taille des populations comme indicateur de l'exposition à la malnutrition ainsi que la variation temporelle de la densité des occupations comme indicateur de l'exposition aux pathogènes. En liant ces proxys à la sélection LP, il a pu être démontré que les données génétiques observées concernant les LP étaient des centaines de fois plus plausibles que si l'on avait supposé que la sélection était constante ou déterminée par l'importance de l'utilisation du lait. Ainsi, plutôt que de dépendre de la consommation du lait, la sélection LP est donc liée à la latitude, aux fluctuations démographiques et à la densité des occupations, qui sont autant d'indicateurs des conditions de vie, des économies de subsistance et de l'exposition des populations aux pathogènes.

CONCLUSIONS : APPROCHES MULTI-PROXY POUR L'ÉTUDE DE L'EXPLOITATION DU LAIT DANS LE PASSÉ

La restitution de profils d'abattage précis et l'application de nouveaux outils statistiques pour leur interprétation (Gerbault *et al.*, 2016 ; Timpson *et al.*, 2018) ont fourni des éclairages inédits sur la gestion des animaux et les pratiques d'élevage. De même, le corpus croissant d'études isotopiques de référence (par ex. Blaise et Balasse, 2011 ; Balasse *et al.*, 2012 ; Balasse *et al.*, 2020), couplé à de nouvelles données archéozoologiques, permet d'étudier la saisonnalité des naissances et la disponibilité du lait (par ex. Balasse *et al.*, 2021). En Europe, les études à grande échelle basées sur l'analyse des résidus lipidiques comme indicateur de la production et de la consommation du lait ont offert des éclairages importants sur les tendances géographiques et temporelles du phénomène au cours de la Préhistoire (Evershed *et al.*, 2022). L'étude de l'exploitation du lait dans le passé est principalement motivée par la volonté des chercheurs d'étudier les relations homme-animal et de comprendre l'augmentation de la persistance de la lactase dans les populations humaines. Une gamme de méthodes est disponible pour étudier la production, l'utilisation et la consommation du lait. Les études conduites à l'échelle des sites, des régions ou des continents fournissent des informations de plus en plus détaillées sur l'exploitation du lait. Néanmoins, chacune de ces méthodes présentent des limites, liées au matériel étudié ou au type d'informations obtenues. Comprendre la diversité des choix et des pratiques au sein des sociétés humaines passées est un défi. Le recours croissant à plusieurs sources de données, utilisées de manière complémentaire, apporte un éclairage nouveau sur divers aspects de l'exploitation laitière, par exemple sur le site LBK de Ludwinowo (Smyth *et al.*, 2023) ou en Méditerranée nord (Debono Spiteri *et al.*, 2016). La création de bases de données et l'exploitation approfondie des

données existantes, ainsi que l'intégration de diverses sources d'informations sur la production, l'utilisation et la consommation du lait, permettront sans aucun doute de renouveler nos connaissances sur l'exploitation du lait dans le passé.

Les études interdisciplinaires ont fourni une base solide pour étudier le lien entre l'utilisation du lait et les changements récents de la biologie humaine, notamment l'émergence de la capacité à digérer le lactose à l'âge adulte. L'étude d'Evershed et collaborateurs (2022) a été réalisée au niveau des populations, l'utilisation du lait ayant été évaluée à travers la poterie utilisée à l'échelle des foyers ou des communautés. Cependant, la cartographie de la consommation passée du lait à l'échelle des individus permettrait une compréhension bien plus nuancée de l'évolution de la LP voire d'autres traits génétiquement déterminés, notamment ceux liés à la disponibilité de la vitamine D et du calcium (par ex. pigmentation de la peau). Les données de consommation de lait à l'échelle individuelle permettront également d'explorer les conséquences de la persistance du lactase (LP) sur la santé, y compris de ses liens avec l'état nutritionnel général et l'exposition aux pathogènes. Enfin, de telles informations aideront à identifier les facteurs sociétaux influençant l'accès au lait et, couplées aux données d'âge au moment de l'abattage des individus, de discuter de la résilience et de la vulnérabilité nutritionnelles individuelles pendant les périodes de forte croissance et de déclin démographiques (Colledge *et al.*, 2019).

Remerciements. Je remercie Richard P. Evershed dont le travail infatigable sur l'analyse des résidus organiques a posé les bases solides de ce domaine de recherche. Je le remercie égale-

ment de m'avoir accueillie au sein de l'Unité de Géochimie Organique en 2008, et de m'avoir inspirée dans le développement d'une carrière en chimie analytique. Je remercie également Jean-Denis Vigne qui m'a invitée à produire cette synthèse. Son travail et sa passion ont été une source d'inspiration pour moi, et son soutien continu très précieux. Je tiens à remercier les archéozoologues spécialistes des isotopes Marie Balasse, Roz Gillis et Cheryl Makarewicz pour leurs remarques et réflexions. Les généticiens et statisticiens Mark Thomas, Adrian Timpson et Pascale Gerbault ont été des collaborateurs merveilleux, donnant une autre dimension à mes recherches. Merci à Théo Tacail pour sa confiance et sa collaboration sur les thématiques autour du calcium. Au fil des années, j'ai eu la chance de pouvoir travailler avec des dizaines d'archéologues et de spécialistes de la céramique, collaborations situées au fondement de mes recherches. Je leur suis reconnaissante de m'avoir confié l'étude d'un matériel archéologique précieux afin de réaliser des analyses destructives. Mes recherches n'auraient pas été possibles sans le soutien du NERC NEIF Facility – en particulier Ian Bull, Helen Whelton et Iain Kendall –, de la School of Chemistry et de l'Université de Bristol. Je remercie mes collègues et amis Lucy Cramp, Tim Knowles et Rich Pancost pour les discussions inspirantes. Merci aux membres passés et présents de mon groupe de recherche – chercheurs postdoctoraux, doctorants, techniciens, étudiants de licence et de master – pour leur travail acharné, leur créativité et leur résilience. Pour n'en citer que quelques-uns : Charlie Maule, Isabel Wiltshire, Izzy Davis, Sam Johns, Susanna Smith, Gywain Jones, Eugenia Geddes da Filicaia, Pierre-Jean Dodat, Jamie Lewis, Iman Abdelgani, Jada Northcott-Comer, Nelly Toporău-Cuzma, Phoebe Jones Barbour. Enfin, mes sincères remerciements aux deux relecteurs anonymes pour leurs suggestions qui ont grandement amélioré ce manuscrit ainsi qu'aux éditeurs pour leur patience. Cet article a été préparé dans le cadre d'une Bourse Dorothy Hodgkin de la Royal Society (DHF\R1\180064 et DHF\R\241006).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES / BIBLIOGRAPHICAL REFERENCES

- ADMIRAAL M., LUCQUIN A., VON TERSCH M., JORDAN P.D., CRAIG O.E. (2019) – Investigating the function of prehistoric stone bowls and griddle stones in the Aleutian Islands by lipid residue analysis, *Quaternary Research*, 91, 3, p. 1003-1015.
- AMOROSO E.C., JEWELL P.A. (1963) – The exploitation of the milk-ejection reflex by primitive people, in A.E. Mourant & F.E. Zeuner (dir.), *Man and Cattle: Proceedings of a symposium on domestication at the Royal Anthropological Institute, 24-26 May 1960* London Royal Anthropological Institute of Great Britain and Ireland p. 126-138.
- BALASSE M., BOCHERENS H., TRESSET A., MARIOTTI A., VIGNE J.-D. (1997) – Emergence de la production laitière au Néolithique ? Contribution de l'analyse isotopique d'ossements de bovins archéologiques, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science*, 325, 12, p. 1005-1010.
- BALASSE M., TRESSET A., BOCHERENS H., MARIOTTI A., VIGNE J.-D. (2000) – Un abattage «post-lactation» sur des bovins domestiques néolithiques. Etude isotopique des restes osseux du site de Bercy (Paris, France), *Gestion démographique des animaux à travers le temps, Colloque international de Turin, 16-18 septembre 1998, Ibex 5; Anthropozoologica* 31, p. 39-48.
- BALASSE M., TRESSET A. (2002) – Early weaning of Neolithic domestic cattle (Bercy, France) revealed by intra-tooth variation in nitrogen isotope ratios, *Journal of Archaeological Science*, 29, p. 853-859.
- BALASSE M. (2003) – Keeping the young alive to stimulate the production of milk? Differences between cattle and small stock, *Anthropozoologica*, 7, p. 3-10.
- BALASSE M., OBEIN G., UGHETTO-MONFRIN J., MAINLAND I. (2012) – Investigating seasonality and season of birth in past herds: a reference set of sheep enamel stable oxygen isotope ratios, *Archaeometry*, 54, 2, p. 349-368.
- BALASSE M., FRÉMONDEAU D., TORNERO C. (2015) – Rythmes saisonniers des élevages préhistoriques en Europe tempérée. L'outil isotopique traceur de la distribution des naissances du cheptel domestique, *Les nouvelles de l'archéologie*, 138, p. 49-54.
- BALASSE M., TRESSET A., BĂLĂȘESCU A., BLAISE E., TORNERO C., GANDOIS H., FIORILLO D., NYERGES É.Á., FRÉMONDEAU D., BANFFY E., IVANOVA M. (2017) – Animal Board

- Invited Review: Sheep birth distribution in past herds: a review for prehistoric Europe (6th to 3rd millennia BC), *Animal*, p. 1-8.
- BALASSE M., RENAULT-FABREGON L., GANDOIS H., FIORILLO D., GORCZYK J., BACVAROV K., IVANOVA M. (2020) – Neolithic sheep birth distribution: Results from Nova Nadezhda (sixth millennium BC, Bulgaria) and a reassessment of European data with a new modern reference set including upper and lower molars, *Journal of Archaeological Science*, 118, p. 105139.
- BALASSE M., GILLIS R., ŽIVALJEVIĆ I., BERTHON R., KOVAČIKOVÁ L., FIORILLO D., ARBOGAST R.M., BĂLĂȘESCU A., BRÉHARD S., NYERGES E.A., DIMITRIJEVIĆ V., BÁNFFY E., DOMBORÓCZKI L., MARCINIAK A., OROSS K., VOSTROVSKÁ I., ROFFET-SALQUE M., STEFANOVIC S., IVANOVA M. (2021) – Seasonal calving in European Prehistoric cattle revealed from oxygen isotope ratios in teeth: impacts on milk availability and cheese-making, *Scientific Reports*, 11,
- BALASSE M., CHEMINEAU P., PARISOT S., FIORILLO D., KELLER M. (2024) – Experimental data from Lacaune and Merino sheep provide new methodological and theoretical grounds to investigate autumn lambing in past husbandries, *Journal of Archaeological Method and Theory*, 31, 1, p. 75-92.
- BAUDAIS D., BEAUFILS T., BORDREUIL M., CHAIX L., PÉTREQUIN P. (1986) – *Les sites littoraux néolithiques de Clairvaux-les-Lacs (Jura) -I- Problématique générale. L'exemple de la station III*, Paris, Éd. de la MSH.
- BERSAGLIERI T., SABETI P.C., PATTERSON N., VANDERPLOEG T., SCHAFFNER S.F., DRAKE J.A., RHODES M., REICH D.E., HIRSCHHORN J.N. (2004) – Genetic Signatures of Strong Recent Positive Selection at the Lactase Gene, *Am. J. Hum. Genet.*, 74, 1111-1120,
- BERSTAN R., DUDD S.N., COPLEY M.S., MORGAN E.D., QUYE A., EVERSLED R.P. (2004) – Characterisation of 'bog butter' using a combination of molecular and isotopic techniques, *The Analyst*, 129, p. 270-275.
- BIANCHI G. (1995) – Plant waxes, in R.J. Hamilton (dir.), *Waxes: chemistry, molecular biology and functions*, Dundee, The Oily Press, p. 175-222.
- BLAISE E., BALASSE M. (2011) – Seasonality and season of birth of modern and late Neolithic sheep from south-eastern France using tooth enamel $\delta^{18}\text{O}$ analysis, *Journal of Archaeological Science*, 38, 11, p. 3085-3093.
- BLEASDALE M., RICHTER K.K., JANZEN A., BROWN S., SCOTT A., ZECH J., WILKIN S., WANG K., SCHIFFELS S., DESIDERI J., BESSE M., REINOLD J., SAAD M., BABIKER H., POWER R.C., NDIEMA E., OGOLA C., MANTHI F.K., ZAHIR M., PETRAGLIA M., TRACHSEL C., NANNI P., GROSSMANN J., HENDY J., CROWTHER A., ROBERTS P., GOLDSTEIN S.T., BOIVIN N. (2021) – Ancient proteins provide evidence of dairy consumption in eastern Africa, *Nature Communications*, 12, 1, p. 632.
- BOGUCKI P.I. (1982) – *Early Neolithic subsistence and settlement in the Polish lowlands*, Oxford, Archaeopress (British Archaeological Reports International Series).
- BOGUCKI P.I. (1984) – Ceramic sieves of the Linear Pottery culture and their economic implications, *Oxford Journal of Archaeology*, 3, 1, p. 15-30.
- BOURGEOIS G., GOUIN P. (1995) – Résultats d'une analyse de traces organiques fossiles dans une «faisselle» harappéenne, *Paléorient*, 21, 1, p. 125-128.
- BROCKERHOFF H. (1966) – Fatty acid distribution pattern of animal depot fats, *Comparative Biochemistry and Physiology*, 19, 1, p. 1-12.
- BUCKLEY M., COLLINS M., THOMAS-OATES J., WILSON J.C. (2009) – Species identification by analysis of bone collagen using matrix-assisted laser desorption/ionisation time-of-flight mass spectrometry, *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 23, 23, p. 3843-3854.
- BUNGE G. (1898) – *Lehrbuch des physiologischen Chemie*, 4th edition, Leipzig.
- CAPPELLINI E., PROHASKA A., RACIMO F., WELKER F., WINTHER PEDERSEN M., ALLENTOF M.E., DE BARROS DAMGAARD P., GUTENBRUNNER P., DUNNE J., HAMMANN S., ROFFET-SALQUE M., ILARDO M., MORENO-MAYAR J.V., WANG Y., SIKORA M., VINNER L., COX J., EVERSLED R.P., WILLERSLEV E. (2018) – Ancient biomolecules and evolutionary inference, *Annual Review of Biochemistry*, 87, p. 1029-1060.
- CASANOVA E., KNOWLES T.D.J., BAYLISS A., DUNNE J., BARAŃSKI M.Z., DENAIRE A., LEFRANC P., DI LERNIA S., ROFFET-SALQUE M., SMYTH J., BARCLAY A., GILLARD T., CLABEN E., COLES B., ILETT M., JEUNESSE C., KRUEGER M., MARCINIAK A., MINNITT S., ROTUNNO R., VAN DE VELDE P., VAN WIJK I., COTTON J., DAYKIN A., EVERSLED R.P. (2020) – Accurate compound-specific ^{14}C dating of archaeological pottery vessels, *Nature*, 580, p. 506-510.
- CASANOVA E., KNOWLES T.D.J., BAYLISS A., ROFFET-SALQUE M., HEYD V., PYZEL J., CLABEN E., DOMBORÓCZKI L., ILETT M., LEFRANC P., JEUNESSE C., MARCINIAK A., VAN WIJK I., EVERSLED R.P. (2021a) – Dating the emergence of dairying by the first farmers of Central Europe using ^{14}C analysis of fatty acids preserved in pottery vessels, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 119, 43, p. e2109325118.
- CASANOVA E., KNOWLES T.D.J., MULHALL I., SIKORA M., SMYTH J., EVERSLED R.P. (2021b) – Generation of two new radiocarbon standards for compound-specific radiocarbon analyses of fatty acids from bog butter finds, *Radiocarbon*, p. 1-13.
- CASANOVA E., KNOWLES T.D.J., OUTRAM A.K., STEAR N., ROFFET-SALQUE M., ZAIBERT V., SHEVINA I., LOGVIN A., EVERSLED R.P. (2022) – Direct ^{14}C dating of equine products preserved in archaeological pottery vessels from Botai and Bestamak, Kazakhstan, *Archaeological and Anthropological Sciences*, 14.
- CAYME J.-M.C., VAHUR S., TEEARU A., ORASS E., LEITO I. (2024) – The impact of mineral composition on the yield and preservation of selected fatty acids in replicate archaeological ceramics, *Journal of Chemical Metrology*, 18, 2, p. 95-113.
- CHARRIÉ-DUHOUT A., CONNAN J., ROUQUETTE N., ADAM P., BARBOTIN C., DE ROZIÈRES M.-F.O., TCHAPLA A., ALBRECHT P. (2007) – The canopic jars of Rameses II: real use

- revealed by molecular study of organic residues, *Journal of Archaeological Science*, 34, 6, p. 957-967.
- CHARTERS S., EVERSHERD R.P., GOAD L.J., HERON C., BLINKHORN P. (1993a) – Identification of an adhesive used to repair a Roman jar, *Archaeometry*, 35, 1, p. 91-101.
- CHARTERS S., EVERSHERD R.P., GOAD L.J., LEYDEN A., BLINKHORN P.W., DENHAM V. (1993b) – Quantification and distribution of lipid in archaeological ceramics: implications for sampling potsherds for organic residue analysis and the classification of vessel use, *Archaeometry*, 35, 2, p. 211-223.
- CHARTERS S., EVERSHERD R.P., QUYÉ A., BLINKHORN P.W., REEVES V. (1997) – Simulation experiments for determining the use of ancient pottery vessels: the behaviour of epicuticular leaf wax during boiling of a leafy vegetable, *Journal of Archaeological Science*, 24, p. 1-7.
- CHEMINEAU P., BALASSE M., GUTIERREZ E., KELLER M. (2025) – L'effet mâle » chez les ovins et caprins : une technique qui nous vient du Néolithique ?, *Ethnozootechnie*, 117.
- CHRISTIE W.W., MOORE J.H. (1971) – Structures of triglycerides isolated from various sheep tissues, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 22, 3, p. 120-124.
- CLARK J.G.D. (1952) – *Prehistoric Europe: the economic basis*, Cambridge, Cambridge University Press.
- CLUTTON-BROCK J. (1999) – *A natural history of domesticated mammals*, Cambridge, Cambridge University Press, 238 p.
- COELHO M., LUISELLI D., BERTORELLE G., LOPES A., SEIXAS S., DESTRO-BISOL G., ROCHA J. (2005) – Microsatellite variation and evolution of human lactase persistence, *Human Genetics*, 117, 4, p. 329-339.
- COLLEDGE S., CONOLLY J., CREMA E., SHENNAN S. (2019) – Neolithic population crash in northwest Europe associated with agricultural crisis, *Quaternary Research*, p. 1-22.
- COLLINS R. (2012) – What makes UK Biobank special?, *The Lancet*, 379, 9822, p. 1173-1174.
- COLOMBINI M.P., GIACHI G., MODUGNO F., RIBECCHINI E. (2005) – Characterisation of organic residues in pottery vessels of the Roman age from Antinoe (Egypt), *Microchemical Journal*, 79, 1-2, p. 83-90.
- CONDAMIN J., FORMENTI F., METAIS M.O., MICHEL M., BLOND P. (1976) – The application of gas chromatography to the tracing of oil in ancient amphorae, *Archaeometry*, 18, 2, p. 195-201.
- COOK G.C., AL-TORKI M.T. (1975) – High intestinal lactase concentrations in adult Arabs in Saudi Arabia., *British Medical Journal*, 3, p. 135-136.
- COOK G.C. (1978) – Did persistence of intestinal lactase into adult life originate on the Arabian Peninsula?, *Man*, 13, 3, p. 418-427.
- COPLEY M.S., BERSTAN R., DUDD S.N., DOCHERTY G., MUKHERJEE A.J., STRAKER V., PAYNE S., EVERSHERD R.P. (2003) – Direct chemical evidence for widespread dairying in prehistoric Britain, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100, 4, p. 1524-1529.
- COPLEY M.S., HANSEL F.A., SADR K., EVERSHERD R.P. (2004) – Organic residue evidence for the processing of marine animal products in pottery vessels from the pre-colonial archaeological site of Kasteelberg D east, South Africa, *South African Journal of Science*, 100, p. 279-283.
- COPLEY M.S., BERSTAN R., DUDD S.N., STRAKER V., PAYNE S., EVERSHERD R.P. (2005A) – Dairying in antiquity. I. Evidence from absorbed lipid residues dating to the British Iron Age, *Journal of Archaeological Science*, 32, 4, p. 485-503.
- COPLEY M.S., BERSTAN R., MUKHERJEE A.J., DUDD S.N., STRAKER V., PAYNE S., EVERSHERD R.P. (2005B) – Dairying in antiquity. III. Evidence from absorbed lipid residues dating to the British Neolithic, *Journal of Archaeological Science*, 32, 4, p. 523-546.
- COPLEY M.S., BERSTAN R., STRAKER V., PAYNE S., EVERSHERD R.P. (2005C) – Dairying in antiquity. II. Evidence from absorbed lipid residues dating to the British Bronze Age, *Journal of Archaeological Science*, 32, 4, p. 505-521.
- COPLEY M.S., BLAND H.A., ROSE P., HORTON M.C., EVERSHERD R.P. (2005D) – Gas chromatographic, mass spectrometric and stable carbon isotopic investigations of organic residues of plant oils and animal fats employed as illuminants in archaeological lamps from Egypt, *The Analyst*, 130, p. 860-871.
- CORREA-ASCENCIO M., EVERSHERD R.P. (2014) – High throughput screening of organic residues in archaeological potsherds using direct methanolic acid extraction, *Analytical methods*, 6, p. 1330-1340.
- CORREA-ASCENCIO M., ROBERTSON I.G., CABRERA-CORTÉS O., CABRERA-CASTRO R., EVERSHERD R.P. (2014) – Pulque production from fermented agave sap as a dietary supplement in Prehispanic Mesoamerica, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111, 39, p. 14223-14228.
- CRAIG O.E., MULVILLE J., PARKER PEARSON M., SOKOL R., GELSTHORPE K., STACEY R., COLLINS M. (2000) – Detecting milk proteins in ancient pots, *Nature*, 408, p. 312.
- CRAIG O.E., CHAPMAN J., HERON C., WILLIS L.H., BARTOSIEWICZ L., TAYLOR G., WHITTLE A., COLLINS M. (2005) – Did the first farmers of central and eastern Europe produce dairy foods?, *Antiquity*, 79, p. 882-894.
- CRAIG O.E., FORSTER M., ANDERSEN S.H., KOCH E., CROMBRÉ P., MILNER N., STERN B., BAILEY G.N., HERON C.P. (2007) – Molecular and isotopic demonstration of the processing of aquatic products in Northern European Prehistoric pottery, *Archaeometry*, 49, 1, p. 135-152.
- CRAIG O.E., STEELE V.J., FISCHER A., HARTZ S., ANDERSEN S.H., DONOHUE P., GLYKOU A., SAUL H., JONES D.M., KOCH E., HERON C.P. (2011) – Ancient lipids reveal continuity in culinary practices across the transition to agriculture in Northern Europe, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108, 44, p. 17910-17915.
- CRAIG O.E., SAUL H., LUCQUIN A., NISHIDA Y., TACHÉ K., CLARKE L., THOMPSON A., ALTOFT D.T., UCHIYAMA J., AJIMOTO M., GIBBS K., ISAKSSON S., HERON C.P., JORDAN P. (2013) – Earliest evidence for the use of pottery, *Nature*, 496, p. 351-354.
- CRAMP L.J.E., EVERSHERD R.P., ECKARDT H. (2011) – What was a mortarium used for? Organic residues and cultural

- change in Iron Age and Roman Britain *Antiquity*, 85, 330, p. 1339-1352.
- CRAMP L.J.E., JONES J., SHERIDAN A., SMYTH J., WHELTON H., MULVILLE J., SHARPLES N., EVERSLED R.P. (2014) – Immediate replacement of fishing with dairying by the earliest farmers of the northeast Atlantic archipelagos, *Proceedings of the Royal Society B*, 281, 1780, p. 20132372.
- CUBAS M., LUCQUIN A., ROBSON H.K., COLONESE A.C., ARIAS P., AUBRY B., BILLARD C., JAN D., DINIZ M., FERNANDES R. (2020) – Latitudinal gradient in dairy production with the introduction of farming in Atlantic Europe, *Nature Communications*, 11, 1, p. 1-9.
- DAMGAARD P.B., MARGARYAN A., SCHROEDER H., ORLANDO L., WILLERSLEV E., ALLENTOF M.E. (2015) – Improving access to endogenous DNA in ancient bones and teeth, *Scientific Reports*, 5, 1, p. 11184.
- DANSGAARD W. (1964) – Stable isotopes in precipitation, *Tellus*, 16, 4, p. 436-468.
- DAVID N. (1972) – On the life span of pottery, type frequencies, and archaeological inference, *American Antiquity*, 37, 1, p. 141-142.
- DAVIS I., ROFFET-SALQUE M. (2026) – The occurrence and diagnostic potential of aquatic biomarkers: guidance for freshwater resource identification for archaeological pottery lipid residue analysis, *Journal of Archaeological Science*.
- DEBELS P., VIEUGUÉ J., DRIEU L., GARNIER A., SALL M., MAYOR A. (2025) – From pottery use-alteration to food habits: Perspectives from a 20th century Diola Kassa midden (Lower Casamance, Senegal), *Journal of Archaeological Science: Reports*, 61, p. 104898.
- DEBOER W.R. (1974) – Ceramic longevity and archaeological interpretation: an example from the Upper Ucayali, Peru, *American Antiquity*, 39, 2, p. 335-343.
- DEBONO SPITERI C., GILLIS R.E., ROFFET-SALQUE M., CASTELLS NAVARRO L., GUILAINE J., MUNTONI I.M., SAÑA SEGUI M., UREM-KOTSOU D., WHELTON H.L., CRAIG O.E., VIGNE J.-D., EVERSLED R.P. (2016) – Regional asynchronicity in dairy production and processing in early farming communities of the northern Mediterranean, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113, 48, p. 13594-13599.
- DEKKER J.A.A., HAGAN R., COLLINS M., HENDY J. (2025) – An unclean slate, discrepancies between food input and recovered protein signal from experimental foodcrusts, *PLoS ONE*, 20, 8, p. e0330195.
- DEN DOOREN DE JONG I., DAUVILLIER M., ROMAN W. (1961) – On the formation of adipocere from fats - Contribution to the microbiology of systems containing two liquid phases, *Antonie van Leeuwenhoek*, 27, 1, p. 337-361.
- DENIRO M.J., EPSTEIN S. (1977) – Mechanism of carbon isotope fractionation associated with lipid synthesis, *Science*, 197, 4300, p. 261-263.
- DRIEU L., HORGNIÉS M., BINDER D., PÉTREQUIN P., PÉTREQUIN A.-M., PECHE-QUILICHINI K., LACHENAL T., REGERT M. (2019) – Influence of porosity on lipid preservation in the wall of archaeological pottery, *Archaeometry*.
- DRIEU L., LUCQUIN A., CASSARD L., SORIN S., CRAIG O.E., BINDER D., REGERT M. (2021) – A Neolithic without dairy? Chemical evidence from the content of ceramics from the Pendimoun rock-shelter (Castellar, France, 5750–5150 BCE), *Journal of Archaeological Science: Reports*, 35, p. 102682.
- DRIEU L., REGERT M., MAZUY A., VIEUGUÉ J., BOCOUM H., MAYOR A. (2022) – Relationships between lipid profiles and use of ethnographic pottery: an exploratory study, *Journal of Archaeological Method and Theory*.
- DRIEU L., LUNDY J., SMITH R.K., BERGSTRÖM E., TALBOT H., PRIMAVERA M., FIORENTINO G., CRAIG O.E., THOMAS-OATES J. (2025) – A medium-throughput approach for improved taxonomic identification of lipids preserved in ancient pottery, *Archaeometry*, 67, 1, p. 182-201.
- DUCOS P. (1968) – *L'origine des animaux domestiques en Palestine*, Bordeaux, Institut de Préhistoire de l'Université.
- DUCOS P. (1993) – Proto-élevage et élevage au Levant Sud au VII^e millénaire B.C. : les données de la Damascène, *Paléorient*, p. 153-173.
- DUDD S.N., EVERSLED R.P. (1998) – Direct demonstration of milk as an element of archaeological economies, *Science*, 282, p. 1478-1481.
- DUDD S.N., REGERT M., EVERSLED R.P. (1998) – Assessing microbial lipid contributions during laboratory degradations of fats and oils and pure triacylglycerols absorbed in ceramic potsherds, *Organic Geochemistry*, 29, 5-7, p. 1345-1354.
- DUDD S.N. (1999) – *Molecular and isotopic characterisation of animal fats in archaeological pottery*, University of Bristol, 331 p.
- DUNNE J., EVERSLED R.P., SALQUE M., CRAMP L.J.E., BRUNI S., RYAN K., BIAGETTI S., DI LERNIA S. (2012) – First dairying in green Saharan Africa in the fifth millennium BC, *Nature*, 486, p. 390-394.
- DUNNE J., MERCURI A.M., EVERSLED R.P., BRUNI S., DI LERNIA S. (2016) – Earliest direct evidence of plant processing in prehistoric Saharan pottery, *Nature Plants*, 3, p. 16194.
- DUNNE J., GRILLO K.M., CASANOVA E., WHELTON H.L., EVERSLED R.P. (2018) – Pastoralist foodways recorded in organic residues from pottery vessels of modern communities in Samburu, Kenya, *Journal of Archaeological Method and Theory*.
- DUNNE J.B., GILLARD T., EVERSLED R.P. (2022) – Organic residue analysis of the ceramics and steatite vessels, *Clach-toll. An Iron Age Broch settlement in Assynt, North-West Scotland*, Oxford, Oxbow Books, p. 73-83.
- DURHAM W.H. (1991) – Cultural mediation: the evolution of adult lactose absorption, *Coevolution: genes, culture and human diversity*, Stanford, Stanford University Press, p. 226-286.
- EERKENS J.W. (2002) – The preservation and identification of Piñon resins by GC-MS in pottery from the Western Great Basin, *Archaeometry*, 44, 1, p. 95-105.
- EERKENS J.W. (2005) – GC-MS analysis and fatty acid ratios of archaeological potsherds from the Western Great basin of North America, *Archaeometry*, 47, 1, p. 83-102.
- EERKENS J.W. (2007) – Organic residue analysis and the decomposition of fatty acids in ancient potsherds, *in*

- H.B.a.J.W. Eerkens (dir.), *Theory and Practice in Archaeological Residue Analysis*, Oxford, BAR International Series 1650, p. 90-98.
- ENATTAH N.S., SAHI T., SAVILAHTI E., TERWILLIGER J.D., PELTONEN L., JÄRVELÄ I. (2002) – Identification of a variant associated with adult-type hypolactasia, *Nature Genetics*, 30, p. 233-237.
- ETHIER J., BÁNFFY E., VUKOVIĆ J., LESHTAKOV K., BACVAROV K., ROFFET-SALQUE M., EVERSHERD R.P., IVANOVA M. (2017) – Earliest expansion of animal husbandry beyond the Mediterranean zone in the sixth millennium BC, *Scientific Reports*, 7, 1, p. 7146.
- EVANS M., LUNDY J., LUCQUIN A., HAGAN R., KOWALSKI Ł., WILCZYŃKI J., BICKLE P., ADAMCZAK K., CRAIG O.E., ROBSON H.K., HENDY J. (2023) – Detection of dairy products from multiple taxa in Late Neolithic pottery from Poland: an integrated biomolecular approach, *Royal Society Open Science*, 10, 3, p. 230124.
- EVSHERD R.P., HERON C., GOAD L.J. (1990) – Analysis of organic residues of archaeological origin by high-temperature gas chromatography and gas chromatography-mass spectrometry, *The Analyst*, 115, p. 1339-1342.
- EVSHERD R.P., HERON C., GOAD L.J. (1991) – Epicuticular wax components preserved in potsherds as chemical indicators of leafy vegetables in ancient diets, *Antiquity*, 65, p. 540-544.
- EVSHERD R.P. (1993) – Biomolecular archaeology and lipids, *World Archaeology*, 25, 1, p. 74-93.
- EVSHERD R.P., ARNOT K.I., COLLISTER J., EGLINTON G., CHARTERS S. (1994) – Application of isotope ratio monitoring gas chromatography-mass spectrometry to the analysis of organic residues of archaeological origin, *The Analyst*, 119, p. 909-914.
- EVSHERD R.P., TUROSS N. (1996) – Proteinaceous material from potsherds and associated soils, *Journal of Archaeological Science*, 23, 3, p. 429-436.
- EVSHERD R.P., MOTTRAM H.R., DUDD S.N., CHARTERS S., STOTT A.W., LAWRENCE G.J., GIBSON A.M., CONNER A., BLINKHORN P.W., REEVES V. (1997) – New criteria for the identification of animal fats preserved in archaeological pottery, *Naturwissenschaften*, 84, 9, p. 402-406.
- EVSHERD R.P., DUDD S.N., COPLEY M.S., BERSTAN R., STOTT A.W., MOTTRAM H., BUCKLEY S.A., CROSSMAN Z. (2002) – Chemistry of archaeological animal fats, *Accounts of Chemical Research*, 35, p. 660-668.
- EVSHERD R.P., DUDD S.N., ANDERSON-STOJANOVIC V.R., GEBHARD E.R. (2003) – New chemical evidence for the use of combed ware pottery vessels as beehives in ancient Greece, *Journal of Archaeological Science*, 30, 1, p. 1-12.
- EVSHERD R.P. (2008a) – Experimental approaches to the interpretation of absorbed organic residues in archaeological ceramics, *World Archaeology*, 40, 1, p. 26-47.
- EVSHERD R.P. (2008b) – Organic residue analysis in archaeology: the archaeological biomarker revolution, *Archaeometry*, 50, 6, p. 895-924.
- EVSHERD R.P., COPLEY M.S., DICKSON L., HANSEL F.A. (2008a) – Experimental evidence for the processing of marine animal products and other commodities containing polyunsaturated fatty acids in pottery vessels, *Archaeometry*, 50, 1, p. 101-113.
- EVSHERD R.P., PAYNE S., SHERRATT A.G., COPLEY M.S., COO-LIDGE J., UREM-KOTSU D., KOTSAKIS K., ÖZDOĞAN M., ÖZDOĞAN A., NIEUWENHUYSE O.P., AKKERMANS P.M.M.G., BAILEY D., ANDEESCU R.-R., CAMPBELL S., FARID S., HODDER I., YALMAN N., ÖZBAŞARAN M., BIÇAKCI E., GARKINFEL Y., LEVY T., BURTON M.M. (2008b) – Earliest date for milk use in the Near East and southeastern Europe linked to cattle herding, *Nature*, 455, p. 528-531.
- EVSHERD R.P., DAVEY SMITH G., ROFFET-SALQUE M., TIMPSON A., DIEKMANN Y., LYON M.S., CRAMP L.J.E., CASANOVA E., SMYTH J., WHELTON H.L., DUNNE J., BRYCHOVA V., ŠOBERL L., GERBAULT P., GILLIS R.E., HEYD V., JOHNSON E., KENDALL I., MANNING K., MARCINIAK A., OUTRAM A.K., VIGNE J.-D., SHENNAN S., BEVAN A., COLLEDGE S., ALLASON-JONES L., AMKREUTZ L., ANDERS A., ARBOGAST R.-M., BĂLĂŞESCU A., BÁNFFY E., BARCLAY A., BEHRENS A., BOGUCKI P., CARRANCHO ALONSO Á., CARRETERO J.M., CAVANAGH N., CLASSEN E., COLLADO GIRALDO H., CONRAD M., CSENGERI P., CZERNIAK L., DĘBIEC M., DENAIRE A., DOMBORÓCZKI L., DONALD C., EBERT J., EVANS C., FRANCÉS-NEGRO M., GRONENBORN D., HAACK F., HALLE M., HAMON C., HÜLSHOFF R., ILETT M., IRIARTE E., JAKUCS J., JEUNESSE C., JOHNSON M., JONES A.M., KARUL N., KIOSAK D., KOTOVA N., KRAUSE R., KRETSCHMER S., KRÜGER M., LEFRANC P., LELONG O., LENNEIS E., LOGVIN A., LÜTH F., MARTON T., MARLEY J., MORTIMER R., OOSTERBEEK L., OROSS K., PAVÚK J., PECHTL J., PÉTREQUIN P., POLLARD J., POLLARD R., POWLESLAND D., PYZEL J., RACZYK P., RICHARDSON A., ROWE P., ROWLAND S., ROWLANDSON I., SAILE T., SEBŐK K., SCHIER W., SCHMALFUSS G., SHARAPOVA S., SHARP H., SHERIDAN A., SHEVNINA I., SOBKO-WIAK-TABAKA I., STADLER P., STÄUBLE H., STOBBE A. et al. (2022) – Dairying, diseases and the evolution of lactase persistence in Europe, *Nature*, 608, 7922, p. 336-345.
- FABRE M., FOREST V., RANCHÉ C., FIORILLO D., CASABIANCA F., VIGNE J.-D., BALASSE M. (2023) – Milk and meat exploitation, autumn lambing and use of forest resources in Neolithic Corsican sheep farming systems (fifth to third millennia cal BC), *Journal of Archaeological Science: Reports*, 50, p. 104037.
- FAO (1998) – *Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine*, Rome, Food and agriculture organization of the United Nations (coll. FAO Alimentation et nutrition, 28).
- FIDDYMENT S., TEASDALE M.D., VNOUČEK J., LÉVÊQUE É., BINOIS A., COLLINS M.J. (2019) – So you want to do biocodicology? A field guide to the biological analysis of parchment, *Heritage Science*, 7, 1, p. 35.
- FLATZ G., ROTTHAUWE H.W. (1973) – Lactose nutrition and natural selection, *The Lancet*, 302, 7820, p. 76-77.
- FLATZ G., ROTTHAUWE H.W. (1977) – The human lactase polymorphism: physiology and genetics of lactose absorption and malabsorption, *Progress in Medical Genetics*, 2, p. 205-249.
- FONSECA B., FREEMAN C.L., COLLINS M.J. (2022) – Conformational analysis and water dynamics: a molecular dynamics study on the survival of a β -lactoglobulin peptide in the archaeological record, *Chemical Physics*, 561, p. 111602.

- FOSTER G.M. (1960) – Life-expectancy of utilitarian pottery in Tzintzuntzan, Michoacan, Mexico, *American Antiquity*, 25, 4, p. 606-609.
- GAMBA C., JONES E.R., TEASDALE M.D., MCLAUGHLIN R.L., GONZALEZ-FORTES G., MATTIANGELI V., DOMBORÓCZKI L., KÖVÁRI I., PAP I., ANDERS A., WHITTLE A., DANI J., RACZKY P., HIGHAM T.F.G., HOFREITER M., BRADLEY D.G., PINHASI R. (2014) – Genome flux and stasis in a five millennium transect of European prehistory, *Nature Communications*, 5, 5257, p. 1-9.
- GARNIER N., CREN-OLIVÉ C., ROLANDO C., REGERT M. (2002) – Characterization of archaeological beeswax by Electron Ionization and Electrospray Ionization Mass Spectrometry, *Analytical Chemistry*, 74, 19, p. 4868-4877.
- GARRARD A., COLLEDGE S., MARTIN L. (1996) – The emergence of crop cultivation and caprine herding in the “Marginal Zone” of the southern Levant, in D.R. Harris (dir.), *The origins and spread of agriculture and pastoralism in Eurasia*, London, UCL Press, p. 204-226.
- GAT J.R. (1996) – Oxygen and hydrogen isotopes in the hydrological cycle, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 24, p. 225-262.
- GERBAULT P., LIEBERT A., ITAN Y., POWELL A., CURRAT M., BURGER J., SWALLOW D.M., THOMAS M.G. (2011) – Evolution of lactase persistence: an example of human niche construction, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 366, 1566, p. 863-877.
- GERBAULT P., GILLIS R., VIGNE J.-D., TRESSET A., BRÉHARD S., THOMAS M.G. (2016) – Statistically robust representation and comparison of mortality profiles in archaeozoology, *Journal of Archaeological Science*, 71, p. 24-32.
- GILLIS R., CHAIX L., VIGNE J.-D. (2011) – An assessment of morphological criteria for discriminating sheep and goat mandibles on a large prehistoric archaeological assemblage (Kerma, Sudan), *Journal of Archaeological Science*, 38, 9, p. 2324-2339.
- GILLIS R.E., KOVAČIKOVÁ L., BRÉHARD S., GUTHMANN E., VOSTROVSKÁ I., NOHÁLOVÁ H., ARBOGAST R.-M., DOMBORÓCZKI L., PECHTL J., ANDERS A., MARCINIAK A., TRESSET A., VIGNE J.-D. (2017) – The evolution of dual meat and milk cattle husbandry in Linearbandkeramik societies, *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284, 1860.
- GILLIS R.E., GAASTRA J.S., LINDEN M.V., VIGNE J.-D. (2019) – A species specific investigation into sheep and goat husbandry during the Early European Neolithic, *Environmental Archaeology*, p. 1-12.
- GREENFIELD H.J. (2005) – A reconsideration of the Secondary Products Revolution in south-eastern Europe: on the origins and use of domestic animals for milk, wool, and traction in the central Balkans, in: *The Zooarchaeology of Fats, Oils, Milk and Dairying - 9th ICAZ Conference*, J. Mulville & A.K. Outram Eds., Durham, Oxbow Books, 2005, p. 14-31.
- GREGG M.W., BANNING E.B., GIBBS K., SLATER G.F. (2009) – Subsistence practices and pottery use in Neolithic Jordan: molecular and isotopic evidence, *Journal of Archaeological Science*, 36, 4, p. 937-946.
- GRYGIEL R. (2004) – *Neolit i Początki Epoki Brązu w Rejonie Brześća Kujawskiego i Osłonek (The Neolithic and Early Bronze Age in the Brześć Kujawski and Osłonki Region)*, Łódź, Konrad Jażdżewski Foundation for Archaeological Research, Museum of Archaeology and Ethnography, 697 p.
- GUÉGUEN L., POINTILLART A. (2000) – The bioavailability of dietary calcium, *Journal of the American College of Nutrition*, 19, suppl 2, p. 119S-136S.
- HALSTEAD P., COLLINS P., ISAAKIDOU V. (2002) – Sorting the sheep from the goats: morphological distinctions between the mandibles and mandibular teeth of adult *Ovis* and *Capra*, *Journal of Archaeological Science*, 29, 5, p. 545-553.
- HAMILTON J., BENTLEY R.A., BICKLE P., FIBIGER L., HEDGES R., REYNARD L.M., WRIGHT C., CULLEN P., DALE C.W., NOWELL G.M., WHITTLE A. (2013) – Seeking diversity: methodology, in P. Bickle & A. Whittle (dir.), *The first farmers of Central Europe: diversity in LBK lifeways*, Oxbow books, p. 29-48.
- HAMMANN S., SCURR D.J., ALEXANDER M.R., CRAMP L.J.E. (2020) – Mechanisms of lipid preservation in archaeological clay ceramics revealed by mass spectrometry imaging, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, p. 201922445.
- HANSEL F.A., COPLEY M.S., MADUREIRA L.A.S., EVERSHED R.P. (2004) – Thermally produced ω -(*o*-alkylphenyl) alkanolic acids provide evidence for the processing of marine products in archaeological pottery vessels, *Tetrahedron Letters*, 45, 14, p. 2999-3002.
- HANSEL F.A., EVERSHED R.P. (2009) – Formation of dihydroxy acids from Z-monounsaturated alkenoic acids and their use as biomarkers for the processing of marine commodities in archaeological pottery vessels, *Tetrahedron Letters*, 50, 40, p. 5562-5564.
- HAYEK E.W.H., KRENMAYR P., LOHNINGER H., JORDIS U., MOCHE W., SAUTER F. (1990) – Identification of archaeological and recent wood tar pitches using gas chromatography/mass spectrometry and pattern recognition, *Analytical Chemistry*, 62, 18, p. 2038-2043.
- HELMER D. (2000) – Discrimination des genres *Ovis* et *Capra* à l'aide des prémolaires inférieures 3 et 4 et interprétation des âges d'abattage : l'exemple de Dikili Tash (Grèce), in G. Giacobini & V. Peracino (dir.), *Gestion démographique des animaux à travers le temps*, (Ibex, Journal of Mountain Ecology 5, Anthropozoologica 31), p. 29-38.
- HELMER D., VIGNE J.D. (2004) – La gestion des cheptels de caprinés au néolithique dans le midi de la France, *Approches fonctionnelles en Préhistoire, Actes du XXI^e Congrès préhistorique de France, Nanterre, 24-26 novembre 2000*, Paris, Société préhistorique française, p. 397-407.
- HELMER D., GOURICHON L., SIDI MAAMAR H., VIGNE J.-D. (2005) – L'élevage des caprinés néolithiques dans le sud-est de la France : saisonnalité des abattages, relations entre grottes-bergeries et sites de plein-air, *Anthropozoologica*, 40, 1, p. 167-189.
- HENDY J., COLONESE A.C., FRANZ I., FERNANDES R., FISCHER R., ORTON D., LUCQUIN A., SPINDLER L., ANVARI J., STROUD E., BIEHL P.F., SPELLER C., BOVIN N., MACKIE M., JERSIE-CHRISTENSEN R.R., OLSEN J.V., COLLINS M.J., CRAIG O.E., ROSENSTOCK E. (2018A) – Ancient proteins from ceramic vessels at Çatalhöyük West reveal the

- hidden cuisine of early farmers, *Nature Communications*, 9, 1, p. 4064.
- HENDY J., WARINER C., BOUWMAN A., COLLINS M.J., FIDDYMENT S., FISCHER R., HAGAN R., HOFMAN C.A., HOLST M., CHAVES E., KLAUS L., LARSON G., MACKIE M., MCGRATH K., MUNDORFF A.Z., RADINI A., RAO H., TRACHSEL C., VELSKO I.M., SPELLER C.F. (2018B) – Proteomic evidence of dietary sources in ancient dental calculus, *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285, 1883, p. 20180977.
- HENDY J., WELKER F., DEMARCHI B., SPELLER C., WARINER C., COLLINS M.J. (2018C) – A guide to ancient protein studies, *Nature Ecology & Evolution*, 2, p. 791-799.
- HENDY J. (2021) – Ancient protein analysis in archaeology, *Science Advances*, 7, 3, p. eabb9314.
- HENDY J. (2023) – Archaeological Proteomics, *Handbook of Archaeological Sciences*, p. 501-510.
- HERON C., EVERSHERD R.P., GOAD L.J. (1991) – Effects of migration of soil lipids on organic residues associated with buried potsherds, *Journal of Archaeological Science*, 18, 6, p. 641-659.
- HERON C., EVERSHERD R.P. (1993) – The analysis of organic residues and the study of pottery use, *Archaeological Method and Theory*, 5, p. 247-284.
- HERON C., NEMCEK N., BONFIELD K.M., DIXON D., OTTAWAY B.S. (1994) – The chemistry of Neolithic beeswax, *Naturwissenschaften*, 81, 6, p. 266-269.
- HILDITCH T.P. (1949) – The chemical constitution of natural fats, *Proceedings of the Nutrition Society*, Birmingham, L. Parsons Ed., p. 347-354.
- IFKOVITS R.W., RAGHEB H.S. (1968) – Cellular fatty acid composition and identification of rumen bacteria, *Applied and Environmental Microbiology*, 16, 9, p. 1406-1413.
- INGRAM C.J.E., ELAMIN M.F., MULCARE C.A., WEALE M.E., TAREKEGN A., OJIRA RAGA T., BEKELE E., ELAMIN F.M., THOMAS M.G., BRADMAN N., SWALLOW D.M. (2007) – A novel polymorphism associated with lactose tolerance in Africa: multiple causes for lactase persistence?, *Human Genetics*, 120, p. 779-788.
- INGRAM C.J.E., SWALLOW D.M. (2009) – Lactose Malabsorption, in Mc Sweeney & P.F. Fox (dir.), *Lactose, water, salts and minor constituents (Advanced dairy chemistry)*, p. 203-229.
- ITAN Y., POWELL A., BEAUMONT M.A., BURGER J., THOMAS M.G. (2009) – The origins of lactase persistence in Europe, *PLoS Computational Biology*, 5, 8, p. e1000491.
- ITAN Y., JONES B., INGRAM C., SWALLOW D., THOMAS M. (2010) – A worldwide correlation of lactase persistence phenotype and genotypes, *BMC Evolutionary Biology*, 10, 1, p. 36.
- JACOB J., GRIMMER G. (1967) – Occurrence of positional isomers of octadecenoic and hexadecenoic acids in human depot fat, *Journal of Lipid Research*, 8, 4, p. 308-311.
- JENSEN R.G. (1995) – *Handbook of milk composition*, London, Academic Press.
- KAGAWA M., MATSUBARA K., KIMURA K., SHIONO H., FUKUI Y. (1996) – Species identification by the positional analysis of fatty acid composition in triacylglyceride of adipose and bone tissues, *Forensic Science International*, 79, 3, p. 215-226.
- KEENEY M., KATZ I., ALLISON M.J. (1962) – On the probable origin of some milk fat acids in rumen microbial lipids, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 39, 4, p. 198-201.
- KENDALL I. (2013) – *Investigating the effect of Viking colonisation on resource exploitation and diet of the Northern Isles of Scotland, through organic residue analysis of pottery and steatite vessels*, University of Bristol, MSci.
- KIMPE K., JACOBS P.A., WAELEKENS M. (2002) – Mass spectrometric methods prove the use of beeswax and ruminant fat in late Roman cooking pots, *Journal of Chromatography A*, 968, 1-2, p. 151-160.
- LABUSSIÈRE J. (1999) – The physiology of milk ejection: consequences on milking techniques, in J. Martinet, L.-M. Houdebine et H.H. Head (dir.), *Biology of lactation*, Paris, INRA, p. 307-333.
- LE QUELLEC J.-L. (2010) – Traite et insufflation sur les images rupestres du Sahara contredisent l'hypothèse de la consommation du lait comme «révolution secondaire» en Afrique, *Cahiers de l'AARS*, 14, p. 205-246.
- LECLERC M., TACHÉ K., BEDFORD S., SPRIGGS M., LUCQUIN A., CRAIG O.E. (2018) – The use of Lapita pottery: Results from the first analysis of lipid residues, *Journal of Archaeological Science: Reports*, 17, p. 712-722.
- LONGINELLI A. (1984) – Oxygen isotopes in mammal bone phosphate: A new tool for paleohydrological and paleoclimatological research?, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, 2, p. 385-390.
- LUCQUIN A., MARCH R.J., CASSEN S. (2007) – Analysis of adhering organic residues of two “coupes-à-socles” from the Neolithic funerary site “La Hougue Bie” in Jersey: evidences of birch bark tar utilisation, *Journal of Archaeological Science*, 34, 5, p. 704-710.
- LUCQUIN A., GIBBS K., UCHIYAMA J., SAUL H., AJIMOTO M., ELEY Y., RADINI A., HERON C.P., SHODA S., NISHIDA Y., LUNDY J., JORDAN P., ISAKSSON S., CRAIG O.E. (2016) – Ancient lipids document continuity in the use of early hunter-gatherer pottery through 9,000 years of Japanese prehistory, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113 (15), p. 3991-3996.
- LUZ B., KOLODNY Y., HOROWITZ M. (1984) – Fractionation of oxygen isotopes between mammalian bone-phosphate and environmental drinking water, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, 8, p. 1689-1693.
- MALAINÉY M.E., PRZYBYLSKI R., SHERRIFF B.L. (1999) – The effects of thermal and oxidative degradation on the fatty acid composition of food plants and animals of Western Canada: implications for the identification of archaeological vessel residues, *Journal of Archaeological Science*, 26, 1, p. 95-103.
- MANNING K., DOWNEY S.S., COLLEDGE S., CONOLLY J., STOPP B., DOBNEY K., SHANNAN S. (2013) – The origins and spread of stock-keeping: the role of cultural and environmental influences on early Neolithic animal exploitation in Europe, *Antiquity*, 87, 338, p. 1046-1059.

- MANNING K. (2016) – The Cultural Evolution of Neolithic Europe. EUROEVOL Dataset 2: Zooarchaeological data, *Journal of Open Archaeology Data*, 5.
- MCCRACKEN R.D. (1971A) – Lactase deficiency: an example of dietary evolution, *Current Anthropology*, 12, 4/5, p. 479-517.
- MCCRACKEN R.D. (1971B) – Origins and implications of the distribution of adult lactase deficiency in human populations, *Journal of Tropical Pediatrics*, 17, 1, p. 7-10.
- MILLER M.J., WHELTON H.L., SWIFT J.A., MALINE S., HAMMANN S., CRAMP L.J.E., MCCLEARY A., TAYLOR G., VACCA K., BECKS F., EVERSHERD R.P., HASTORF C.A. (2020) – Interpreting ancient food practices: stable isotope and molecular analyses of visible and absorbed residues from a year-long cooking experiment, *Scientific Reports*, 10, 1, p. 13704.
- MILLS J.S., WHITE R. (1994) – Oils and fats, in J.S. Mills & R. White (dir.), *Organic chemistry of museum objects*, p. 31-48.
- MIRABAUD S., ROLANDO C., REGERT M. (2007) – Molecular criteria for discriminating adipose fat and milk from different species by nanoESI MS and MS/MS of their triacylglycerols: application to archaeological remains, *Analytical Chemistry*, 79, 16, p. 6182-6192.
- MOTTRAM H.R., CROSSMAN Z.M., EVERSHERD R.P. (2001) – Regiospecific characterisation of the triacylglycerols in animal fats using high performance liquid chromatography-atmospheric pressure chemical ionisation mass spectrometry, *The Analyst*, 126, p. 1018-1024.
- NIEUWENHUYSE O.P., ROFFET-SALQUE M., EVERSHERD R.P., AKKERMANS P.M.M.G., RUSSELL A. (2015) – Tracing pottery use and the emergence of secondary product exploitation through lipid residue analysis at Late Neolithic Tell Sabi Abyad (Syria), *Journal of Archaeological Science*, 64, p. 54-66.
- OECD/FAO (2019) – Dairy and dairy products, *OECD-FAO Agricultural Outlook 2019-2028*, p. 181-189.
- OR-RASHID M.M., ODONGO N.E., MCBRIDE B.W. (2007) – Fatty acid composition of ruminal bacteria and protozoa, with emphasis on conjugated linoleic acid, vaccenic acid, and odd-chain and branched-chain fatty acids, *Journal of Animal Science*, 85, 5, p. 1228-1234.
- ORTON C., TYERS P., VINCE A. (1993) – *Pottery in archaeology*, Cambridge, Cambridge University Press (coll. Cambridge manuals in Archaeology), 269 p.
- OUTRAM A.K., STEAR N.A., BENDREY R., OLSEN S., KASPAROV A., ZAIBERT V., THORPE N., EVERSHERD R.P. (2009) – The earliest horse harnessing and milking, *Science*, 323, 5919, p. 1332-1335.
- ÖZBAL H., TÜRKÜL-BIYIK A., THISSEN L., DOĞAN T., GERRITSEN F., ÖZBAL R. (2012) – M.Ö. 7. Binyılda Barcın Höyük'te Süt Tüketimi üzerine yeni araştırmalar, *Arkeometri Sonuçları Toplantısı*, 28, p. 15-31.
- ÖZBAL H., THISSEN L., DOĞAN T., GERRITSEN F., ÖZBAL R., TÜRKÜL-BIYIK A. (2013A) – Yenikapı, Aşağıpınar, Bademağacı ve Barcın Çömleklerinde organik kalıntı analizi, *Arkeometri Sonuçları Toplantısı*, 29, p. 83-90.
- ÖZBAL H., THISSEN L., DOĞAN T., GERRITSEN F., ÖZBAL R., TÜRKÜL-BIYIK A. (2013B) – Neolitik Batı Anadolu ve Marmara yerleşimleri çanak çömleklerinde organik kalıntı analizleri, *Arkeometri Sonuçları Toplantısı*, 28, p. 105-114.
- PAYNE S. (1973) – Kill-off patterns in sheep and goats: the mandibles from Aşvan Kale, *Anatolian Studies*, 23, p. 281-303.
- PÉLOUARD S., COURTIN J. (1971) – Un habitat chasséen en Haute Provence la « Grotte C » de Baudinard (Var), *Bulletin de la Société préhistorique française. Etudes et travaux*, p. 540-561.
- PÉTREQUIN P., CHASTEL J., GILIGNY F., PÉTREQUIN A.-M., SAINTOT S. (1987) – Réinterprétation de la civilisation Saône-Rhône - Une approche des tendances culturelles du Néolithique final, *Gallia préhistoire*, 30, 30, p. 1-89.
- PHILP R.P., OUNG J.N. (1988) – Biomarkers: occurrence, utility, and detection, *Analytical Chemistry*, 60, 15, p. 887A-896A.
- POPLIN F. (1980) – L'origine de la production laitière, *Initiation à l'archéologie et à la Préhistoire*, 17, p. 13-17.
- PORCHER J., SCHMITT T. (2012) – Dairy cows: workers in the shadows?, *Society and Animals*, 20, 1, p. 39-60.
- POULTER M., HOLLOX E., HARVEY C.B., MULCARE C., PEUHKURI K., KAJANDER K., SARNER M., KORPELA R., SWALLOW D.M. (2003) – The Causal Element for the Lactase Persistence/ non-persistence Polymorphism is Located in a 1 Mb Region of Linkage Disequilibrium in Europeans, *Annals of Human Genetics*, 67, 4, p. 298-311.
- RAMSØE A., VAN HEEREN V., PONCE P., FISCHER R., BARNES I., SPELLER C., COLLINS M.J. (2020) – Deamidate 1.0: Site-specific deamidation as a tool to assess authenticity of members of ancient proteomes, *Journal of Archaeological Science*, 115, p. 105080.
- REBER E.A., KERR M.T., WHELTON H.L., EVERSHERD R.P. (2019) – Lipid residues from low-fired pottery, *Archaeometry*, 61, 1, p. 131-144.
- REGERT M., COLINART S., DEGRAND L., DECAVALLAS O. (2001) – Chemical alteration and use of beeswax through time: accelerated ageing tests and analysis of archaeological samples from various environmental contexts, *Archaeometry*, 43, 4, p. 549-569.
- REGERT M., VACHER S., MOULHERAT C., DECAVALLAS O. (2003) – Adhesive production and pottery function during the Iron Age at the site of Grand Aunay (Sarthe, France), *Archaeometry*, 45, 1, p. 101-120.
- REGERT M. (2004) – Investigating the history of prehistoric glues by gas chromatography-mass spectrometry, *Journal of Separation Science*, 27, 3, p. 244-254.
- REGERT M., DEVIÈSE T., LE HÔ A.-S., ROUGEULLE A. (2008) – Reconstructing ancient Yemeni commercial routes during the Middle Ages using a structural characterization of terpenoid resins, *Archaeometry*, 50, 4, p. 668-695.
- REGERT M. (2010) – Analytical strategies for discriminating archaeological fatty substances from animal origin, *Mass spectrometry reviews*, 30, 2, p. 177-220.
- REYNARD L.M., HENDERSON G.M., HEDGES R.E.M. (2010) – Calcium isotope ratios in animal and human bone, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 74, 13, p. 3735-3750.

- REYNARD L.M., HENDERSON G.M., HEDGES R.E.M. (2011) – Calcium Isotopes in Archaeological Bones and their Relationship to Dairy Consumption, *Journal of Archaeological Science*, 38, 3, p. 657-664.
- REYNARD L.M., PEARSON J.A., HENDERSON G.M., HEDGES R.E.M. (2013) – Calcium isotopes in juvenile milk-consumers, *Archaeometry*, 55, 5, p. 946-957.
- RICE P.M. (2006) – *Pottery analysis: a sourcebook*, Chicago, University Of Chicago Press, 584 p.
- ROFFET-SALQUE M., REGERT M., EVERSHERD R.P., OUTRAM A.K., CRAMP L.J.E., DECAVALLAS O., DUNNE J., GERBAULT P., MILETO S., MIRABAUD S., PÄÄKKÖNEN M., SMYTH J., ŠOBERL L., WHELTON H.L., ALDAY-RUIZ A., ASPLUND H., BARTKOWIAK M., BAYER-NIEMEIER E., BELHOUCHE L., BERNARDINI F., BUDJA M., COONEY G., CUBAS M., DANAHER E.M., DINIZ M., DOMBORÓCZKI L., FABBRI C., GONZÁLEZ-URQUIJO J.E., GUILAINE J., HACHI S., HARTWELL B.N., HOFMANN D., HOHLE I., IBÁÑEZ J.J., KARUL N., KHERBOUCHE F., KIELY J., KOTSAKIS K., LUETH F., MALLORY J.P., MANEN C., MARCINIAK A., MAURICE-CHABARD B., MCGONIGLE M.A., MULAZZANI S., ÖZDOĞAN M., PERIĆ O.S., PERIĆ S.R., PETRASCH J., PÉTREQUIN A.-M., PÉTREQUIN P., POENSGEN U., POLLARD C.J., POPLIN F., RADI G., STADLER P., STÄUBLE H., TASIĆ N., UREM-KOTSOU D., VUKOVIĆ J.B., WALSH F., WHITTLE A., WOLFRAM S., ZAPATA-PEÑA L., ZOUGHLAMI J. (2015) – Widespread exploitation of the honeybee by early Neolithic farmers, *Nature*, 527, p. 226-230.
- ROFFET-SALQUE M., LEE M.R.F., TIMPSON A., EVERSHERD R.P. (2017) – Impact of modern cattle feeding practices on milk fatty acid stable carbon isotope compositions emphasise the need for caution in selecting reference animal tissues and products for archaeological investigations, *Archaeological and Anthropological Sciences*, 9, 7, p. 1343-1348.
- ROFFET-SALQUE M., GILLIS R., EVERSHERD R.P., VIGNE J.-D. (2018) – Milk as a pivotal medium in the domestication of cattle, sheep and goat, in C. Stépanoff, J.-D. Vigne (dir.), *Hybrid communities: biosocial approaches to domestication and other trans-species relationships*, Routledge, p. 127-143.
- ROFFET-SALQUE M., BANECKI B., KRÜGER M., PYZEL J., SMYTH J., EVERSHERD R., P. (2019) – Chronological and spatial trends in pottery use revealed through lipid residue analyses of LBK pottery vessels, in J. Pyzel (dir.), *Ludwinowo 7 - Neolithic settlement in Kuyavia*, Gdańsk, Poland, Profil-Archeo Publishing House and Archaeological Studio, University of Gdańsk Publishing House (Saved Archaeological Heritage 8), p. 301-316.
- ROSENSTOCK E., EBERT J., SCHEIBNER A. (2021) – Cultured Milk Fermented Dairy Foods along the Southwest Asian-European Neolithic Trajectory, *Current Anthropology*, 62, S24, p. S256-S275.
- ROTTLÄNDER R.C.A. (1990) – *Die Resultate der modernen Fettanalytik und ihre Anwendung auf die prähistorische Forschung*, Köln, Landschaftsverband Rheinland (Archaeo-Physika), 354 p.
- SALQUE M., BOGUCKI P.I., PYZEL J., SOBKOWIAK-TABAKA I., GRYGIEL R., SZMYT M., EVERSHERD R.P. (2013) – Earliest evidence for cheese making in the sixth millennium BC in northern Europe, *Nature*, 493, p. 522-525.
- SHERRATT A. (1981 in 1997) – Plough and pastoralism: aspects of the secondary products revolution, *Economy and Society in Prehistoric Europe: Changing Perspectives*, Princeton University Press, p. 158-199.
- SHORLAND F.B., CZOCHANSKA Z., PRIOR I.A.M. (1969) – Studies on fatty acid composition of adipose tissue and blood lipids of Polynesians, *The American Journal of Clinical Nutrition*, 22, 5, p. 594-605.
- SIMOONS F. (1970) – Primary adult lactose intolerance and the milking habit: a problem in biologic and cultural interrelations - II. A culture historical hypothesis, *Digestive Diseases and Sciences*, 15, 8, p. 695-710.
- SMITH S., YANG A., LARSEN T., TUME R. (1998) – Positional analysis of triacylglycerols from bovine adipose tissue lipids varying in degree of unsaturation, *Lipids*, 33, 2, p. 197-207.
- SMYTH J., EVERSHERD R.P. (2016) – Milking the megafauna: Using organic residue analysis to understand early farming practice, *Environmental Archaeology*, 21, 3, p. 214-229.
- SMYTH J., BERSTAN R., CASANOVA E., MCCORMICK F., MULHALL I., SIKORA M., SYNNOTT C., EVERSHERD R.P. (2019) – Four millennia of dairy surplus and deposition revealed through compound-specific stable isotope analysis and radiocarbon dating of Irish bog butters *Scientific Reports*, 9, 1, p. 4559.
- SMYTH J., GILLIS R., ROFFET-SALQUE M., JOHNSON E.V., BANECKI B., ALTOFT D.T., KENDALL I.P., KRÜGER M., PYZEL J., HEYD V., MARCINIAK A., VIGNE J.-D., BALASSE M., OUTRAM A.K., EVERSHERD R.P. (2023) – Integrated approaches to understanding animal exploitation and dairying in the Central European Early Neolithic: a case study from Ludwinowo 7 (Kuyavia, Poland; c. 5250-5000 cal BC), *Frontiers in Environmental Archaeology*, 2, 2023.
- SPANGENBERG J.E., JACOMET S., SCHIBLER J. (2006) – Chemical analyses of organic residues in archaeological pottery from Arbon Bleiche 3, Switzerland - evidence for dairying in the late Neolithic, *Journal of Archaeological Science*, 33, 1, p. 1-13.
- STANDEVEN F.J., DAHLQUIST-AXE G., HENDY J., FIDDYMENT S., HOLST M., MCGRATH K., COLLINS M., MUNDORFF A., RADINI A., WAGNER J., MEEHAN C.J., TEDDER A., SPELLER C.F. (2025) – An extensive archaeological dental calculus dataset spanning 5000 years for ancient human oral microbiome research, *Data in Brief*, 61, p. 111770.
- SWALLOW D.M. (2003) – Genetics of lactase persistence and lactose intolerance, *Annual Review of Genetics*, 37, 1, p. 197-219.
- TACAIL T., THIVICHON-PRINCE B., MARTIN J.E., CHARLES C., VIRIOT L., BALTER V. (2017) – Assessing human weaning practices with calcium isotopes in tooth enamel, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114, 24, p. 6268-6273.
- TACAIL T., MARTIN J.E., ARNAUD-GODET F., THACKERAY J.F., CERLING T.E., BRAGA J., BALTER V. (2019) – Calcium isotopic patterns in enamel reflect different nursing behaviors among South African early hominins, *Science Advances*, 5, 8, p. eaax3250.
- TACAIL T., LE HOUDEC S., SKULAN J.L. (2020) – New frontiers in calcium stable isotope geochemistry: Perspectives in present and past vertebrate biology, *Chemical Geology*, 537, p. 119471.

- TACAIL T., MARTIN J.E., HERRSCHER E., ALBALAT E., VERNA C., RAMIREZ-ROZZI F., CLARK G., VALENTIN F., BALTER V. (2021) – Quantifying the evolution of animal dairy intake in humans using calcium isotopes, *Quaternary Science Reviews*, 256, p. 106843.
- TACHÉ K., BONDETTI M., LUCQUIN A., ADMIRAAL M., CRAIG O.E. (2019) – Something fishy in the Great Lakes? A reappraisal of early pottery use in north-eastern North America, *Antiquity*, 93, 371, p. 1339-1349.
- TANCOIGNE E. (2021) – Towards a science history of Jordan's dairy industries. The example of jameed, *Les Carnets de l'Ifpo*, en ligne.
- THISSEN L., ÖZBAL H., TÜRKÜKUL BIYIK A., GERRITSEN F., ÖZBAL R. (2010) – The land of milk? Approaching dietary preferences of late Neolithic communities in NW Anatolia., *Leiden Journal of Pottery Studies*, 26, p. 157-172.
- TIMPSON A., GILLIS R.E., MANNING K., THOMAS M.G. (2018) – Modelling caprine age-at-death profiles using the Gamma distribution, *Journal of Archaeological Science*, 99, p. 19-26.
- TISHKOFF S.A., REED F.A., RANCIARO A., VOIGHT B.F., BABBITT C.C., SILVERMAN J.S., POWELL K., MORTENSEN H.M., HIRBO J.B., OSMAN M., IBRAHIM M., OMAR S.A., LEMA G., NYAMBO T.B., GHORI J., BUMPSTEAD S., PRITCHARD J.K., WRAY G.A., DELOUKAS P. (2007) – Convergent adaptation of human lactase persistence in Africa and Europe, *Nature Genetics*, 39, 1, p. 31-40.
- TORNERO C., AGUILERA M., FERRIO J.P., ARCUSA H., MORENO-GARCÍA M., GARCIA-REIG S., ROJO-GUERRA M. (2018) – Vertical sheep mobility along the altitudinal gradient through stable isotope analyses in tooth molar bioapatite, meteoric water and pastures: A reference from the Ebro valley to the Central Pyrenees, *Quaternary International*, 484, p. 94-106.
- TORNERO C., BALASSE M., BRÉHARD S., CARRÈRE I., FIORILLO D., GUILAINE J., VIGNE J.-D., MANEN C. (2020) – Early evidence of sheep lambing de-seasoning in the Western Mediterranean in the sixth millennium BCE, *Scientific Reports*, 10, 1, p. 12798.
- TRESSET A. (1997) – L'approvisionnement carné Cerny dans le contexte du Néolithique du bassin Parisien, *La culture de Cerny : nouvelle économie, nouvelle société au Néolithique - Actes du colloque international de Nemours*, Nemours, Association pour la promotion de la recherche archéologique en Ile-de-France, p. 299-314.
- VIGNE J.-D., HELMER D. (2007) – Was milk a “secondary product” in the Old World Neolithisation process? Its role in the domestication of cattle, sheep and goats, *Anthropozoologica*, 42, 2, p. 9-40.
- WALKER C., THOMAS M.G. (2019) – The evolution of lactose digestion, in M. Paques, C. Lindner (dir.), *Lactose - Evolutionary role, health effects, and applications*, Elsevier, p. 1-48.
- WARINNER C., HENDY J., SPELLER C., CAPPELLINI E., FISCHER R., TRACHSEL C., ARNEBORG J., LYNNERUP N., CRAIG O.E., SWALLOW D.M., FOTAKIS A., CHRISTENSEN R.J., OLSEN J.V., LIEBERT A., MONTALVA N., FIDDYMENT S., CHARLTON S., MACKIE M., CANCI A., BOUWMAN A., RÜHLI F., GILBERT M.T.P., COLLINS M.J. (2014) – Direct evidence of milk consumption from ancient human dental calculus, *Scientific Reports*, 4, p. 7104.
- WELKER F., SORESSI M., RENDU W., HUBLIN J.-J., COLLINS M. (2015) – Using ZooMS to identify fragmentary bone from the Late Middle/Early Upper Palaeolithic sequence of Les Cottés, France, *Journal of Archaeological Science*, 54, p. 279-286.
- WHELTON H.L., ROFFET-SALQUE M., KOTSAKIS K., UREM-KOTSOU D., EVERSLED R.P. (2018) – Strong bias towards carcass product processing at Neolithic settlements in northern Greece revealed through absorbed lipid residues of archaeological pottery, *Quaternary International*, 496, p. 127-139.
- WHELTON H.L., HAMMANN S., CRAMP L.J.E., DUNNE J., ROFFET-SALQUE M., EVERSLED R.P. (2021) – A call for caution in the analysis of lipids and other small biomolecules from archaeological contexts, *Journal of Archaeological Science*, 132, p. 105397.
- WILKIN S., VENTRESCA MILLER A., TAYLOR W.T.T., MILLER B.K., HAGAN R.W., BLEASDALE M., SCOTT A., GANKHUYG S., RAMSØE A., ULIZHIBAYAR S., TRACHSEL C., NANNI P., GROSSMANN J., ORLANDO L., HORTON M., STOCKHAMMER P.W., MYAGMAR E., BOIVIN N., WARINER C., HENDY J. (2020) – Dairy pastoralism sustained eastern Eurasian steppe populations for 5,000 years, *Nature Ecology & Evolution*, 4, 3, p. 346-355.
- YANG Y., SHEVCHENKO A., KNAUST A., ABUDURESULE I., LI W., HU X., WANG C., SHEVCHENKO A. (2014) – Proteomics evidence for kefir dairy in Early Bronze Age China, *Journal of Archaeological Science*, 45, p. 178-186.
- ZHANG M., ROFFET-SALQUE M., CRAMP L., EVERSLED R.P. (2026a) – Laboratory cooking and degradation experiments to support interpretations of absorbed lipid residues arising from the processing of broomcorn millet (*Panicum miliaceum*) and animal products in archaeological pottery vessels I. Molecular analysis, *Organic Geochemistry*, 217, 105196.
- ZHANG M., ROFFET-SALQUE M., CRAMP L., EVERSLED R.P. (2026b) – Laboratory cooking and degradation experiments to support interpretations of absorbed lipid residues arising from the processing of broomcorn millet (*Panicum miliaceum*) and animal products in archaeological pottery vessels II. Isotope analysis, *Organic Geochemistry*, 217, 105197.

Mélanie ROFFET-SALQUE
Organic Geochemistry Unit
School of Chemistry
University of Bristol, Cantock's Close
Bristol BS8 1TS, UK
Melanie.Salque@bristol.ac.uk

traduction en français :
Sylvain DUCASSE
CNRS, UMR 5199-PACEA, Bordeaux
à partir d'un texte généré par Emmy
l'IA générative du CNRS
révision finale :
Mélanie ROFFET-SALQUE

