

Les restes organiques minéralisés : un nouveau champ d'investigation en contexte funéraire. Exemple de la nécropole mérovingienne de Merxheim " Obere Reben " (Haut-Rhin)

Armelle Charrié-Duhaut, Fabienne Médard, Clotilde Proust, Helene Barrand-Emam

▶ **To cite this version:**

Armelle Charrié-Duhaut, Fabienne Médard, Clotilde Proust, Helene Barrand-Emam. Les restes organiques minéralisés : un nouveau champ d'investigation en contexte funéraire. Exemple de la nécropole mérovingienne de Merxheim " Obere Reben " (Haut-Rhin). Carine Carpentier; Rose-Marie Arbogast; Philippe Kuchler. Bioarchéologie : minimums méthodologiques, référentiels communs et nouvelles approches : Actes du 4e séminaire scientifique et technique de l'Inrap, 28-29 nov. 2019, Sélestat, Inrap, 15 p., 2020, 10.34692/ftgf-zd86 . hal-03093849

HAL Id: hal-03093849
https://inrap.hal.science/hal-03093849

Submitted on 4 Jan 2021

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Les restes organiques minéralisés : un nouveau champ d'investigation en contexte funéraire. Exemple de la nécropole mérovingienne de Merxheim « Obere Reben » (Haut-Rhin)

Armelle CHARRIÉ-DUHAUT
CNRS – UMR 7140 CMC
acharrie@unistra.fr

Fabienne MÉDARD
Association Anatex – UMR 7044 ArcHiMèdE
fabienne.medard@anatex.fr

Clotilde PROUST
ArcheoCR
clotildeproust@yahoo.fr

Hélène BARRAND-EMAM
Antea-Archéologie – UMR 7044 ArcHiMèdE
helene.barrand@antea-archeologie.com

Résumé
Rarement intelligibles, les restes organiques minéralisés représentent un potentiel informatif sous-estimé. Directement liés à l'étude de l'objet archéologique en métal qui leur sert de support et a permis leur conservation, ils constituent un champ d'investigation quasi inépuisable et d'une grande diversité. La complexité intrinsèque des matériaux, la variabilité des dégradations possibles, la prise en compte des contextes d'enfouissement impliquent, cependant, de repenser la chaîne opératoire de l'archéologie, depuis la prescription de fouille jusqu'aux lieux de conservation définitifs des biens mobiliers. L'interdisciplinarité et la nécessaire dynamique d'interaction entre les opérateurs de terrain, les conservateurs-restaurateurs, les services de l'État et les spécialistes des matériaux organiques garantissent la réussite de la démarche. Les résultats obtenus par cette approche multidisciplinaire seront illustrés par l'exemple de la nécropole mérovingienne de Merxheim (Haut-Rhin).

Abstract
Rarely intelligible, mineralized organic residues represent an underestimated information potential: their analysis reveals a universe of rare diversity. Directly linked to the study of the archaeological metal artifact that serves as a support and allowed their preservation, they constitute an almost inexhaustible field of investigation. The intrinsic complexity of the materials, the variability of possible degradation, the taking into account of burial contexts, however, imply rethinking the operational chain of archeology, from the prescription of the archaeological excavation to the final places of conservation of movable property. Interdisciplinarity and the necessary dynamic of interaction between field operators, conservators-restorers, state services and organic materials specialists guarantee the success of the process. The results obtained by this multidisciplinary approach will be illustrated by the example of the Merovingian necropolis of Merxheim (Haut-Rhin).

Mots clés
Matériaux organiques, minéralisation, mobilier métallique, contexte funéraire, approche méthodologique, analyse, conservation

Keywords
Organic materials, mineralization, metal artifacts, funerary context, methodological approach, analysis, preservation

Référence électronique
Charrié-Duhaut, Armelle, Médard, Fabienne, Proust, Clotilde & Barrand-Emam, Hélène. (2020). *Les restes organiques minéralisés : un nouveau champ d'investigation en contexte funéraire. Exemple de la nécropole de Merxheim « Obere Reben » (Haut-Rhin).* Dans C. Carpentier, R.-M. Arbogast & Ph. Kuchler (dir.), *Bioarchéologie : minimums méthodologiques, référentiels communs et nouvelles approches : actes du 4e séminaire scientifique et technique de l'Inrap, 28-29 nov. 2019, Sélestat.* <https://doi.org/10.34692/ftgf-zd86>.

1. Introduction

Les traces de matériaux organiques sont généralement difficiles à déceler en contexte archéologique, mais une fois prises en compte, elles se révèlent riches d'informations essentielles et inédites.

Les sépultures constituent un milieu particulièrement favorable à leur conservation. Par le biais du processus de corrosion, l'abondance du mobilier métallique qu'elles contiennent généralement (armement, parures, éléments vestimentaires, objets du quotidien, outillages) et son contact étroit avec la matière organique favorisent la migration des sels métalliques au cœur de cette matière périssable : on la dit alors « minéralisée ». Si les macro-restes les mieux conservés sont visibles à l'œil nu, la grande majorité des vestiges est rarement intelligible. Ils se confondent avec le métal corrodé, en ont souvent la couleur et la texture, et sont recouverts de sédiments. La plupart du temps, ils n'apparaissent qu'à l'examen sous une loupe binoculaire et grâce au regard exercé de l'opérateur.

Émerge alors un univers d'une rare diversité. Le bois, le textile et le cuir constituent les matériaux les plus couramment observés, mais d'autres éléments tels que la peau, la fourrure, les insectes ou les plumes sont également identifiables pour peu qu'un œil avisé sache les reconnaître.

Les restes organiques minéralisés constituent un champ d'investigation directement lié à l'étude de l'objet archéologique en métal, dont ils dépendent du point de vue de la conservation et de la caractérisation. Il est indispensable de les préserver aussi intacts que possible, afin de permettre les investigations nécessaires à leur compréhension. C'est précisément à ce stade qu'une conservation-restauration raisonnée joue un rôle de première importance. La phase d'étude faisant suite à l'expertise consiste à analyser tout ou partie des matériaux constitutifs. L'utilisation des technologies de pointe, désormais accessibles à l'archéologie, amène à des niveaux d'informations jusqu'alors inenvisageables (tomographie, spectrométrie de masse, chromatographie, microscopie optique, microscopie électronique à balayage). La complexité intrinsèque des matériaux ainsi que leur dégradation plus ou moins avancée requièrent la mise en place de stratégies pertinentes autant qu'ajustées, reposant plus que jamais sur l'interdisciplinarité et le dialogue.

Nous souhaitons ici présenter les actions et réflexions méthodologiques qu'un groupe de travail composé d'une équipe pluridisciplinaire de chercheurs issus de différents horizons (opérateurs d'archéologie préventive, universités, CNRS, bureaux d'expertise et laboratoires de conservation-restauration) développe actuellement, en collaboration avec le service régional de l'archéologie (SRA) d'Alsace. L'objectif est de répondre aux multiples questionnements que suscitent la fouille, la prise en charge, le traitement et la conservation des mobiliers métalliques comme ceux des restes organiques issus des opérations d'archéologie préventive et programmée. Il s'agit de repenser une chaîne opératoire dont la programmation des étapes est la ligne de force du processus de conservation et de recherche (Proust, 2020). L'ensemble des intervenants, depuis la découverte des objets sur le terrain à leur dépôt dans un centre de conservation et d'étude – opérateurs de terrain, conservateurs-restaurateurs, chercheurs, services de l'État – sont soumis à des charges et des contraintes incontestablement liées qu'il est aujourd'hui nécessaire d'optimiser.

Afin d'illustrer cette nouvelle approche, nous présenterons le résultat des analyses effectuées sur le mobilier de sépultures alto-médiévales : récemment fouillé, le site de Merxheim « Obere Reben » (Haut-Rhin) constitue un exemple éloquent. Fruit d'une étroite collaboration entre les archéologues, les conservateurs-restaurateurs et les spécialistes des matériaux organiques, l'étude interdisciplinaire associe différentes données : archéologiques et historiques, micro-stratigraphiques et macroscopiques, moléculaires (Médard et coll., 2018).

2. Les archéomatériaux organiques : définition et conservation

2.1. Définition des matériaux organiques archéologiques

En contexte archéologique, nombreux sont les vestiges organiques susceptibles d'être conservés sous une forme plus ou moins altérée, en association ou non avec d'autres matériaux archéologiques (céramique, verre, mobilier métallique, etc.), et le plus souvent mêlés au sédiment environnant. Il est important de saisir la complexité intrinsèque de cet univers, complexité qui débute par la capacité à détecter la présence de ces matériaux dans leur contexte archéologique ou muséal.

Si certains résidus organiques sont clairement identifiables sur le terrain à l'œil nu, d'autres ne se révèlent qu'à l'expertise en laboratoire à l'aide d'outils

grossissants (binoculaire, microscope électronique à balayage MEB). Dans les deux cas, ils peuvent avoir une morphologie connue comme celle de la matière osseuse, du bois, du cuir, des fibres textiles, des graines, des pollens, etc., ou peuvent être visibles mais « amorphes » parce que sans morphologie à l'origine (corps gras, cires, produits végétaux, pigments, enduits, restes culinaires, etc.) ou encore si altérés que tout caractère distinctif a disparu. Il existe également un panel considérable de matériaux organiques présents mais invisibles (par ex. absorbés sur les parois d'une céramique, cf. Regert et coll., 2003). La caractérisation de ces derniers, comme celle des matériaux dits amorphes, ne pourra être réalisée que par le biais d'analyses physico-chimiques. Il reste toutefois entendu que les observations macro- et microscopiques sont primordiales car elles fournissent les premières informations sur la nature et sur le degré de préservation de l'objet.

L'approche moléculaire est basée sur le fait que tout matériel organique ou biologique, archéologique ou contemporain, est défini par sa composition biomoléculaire et isotopique. Une empreinte moléculaire constituée de molécules avec un squelette carboné caractéristique de la substance naturelle, appelées biomarqueurs, lui est diagnostique. Cette empreinte est accessible par des approches physico-chimiques : datation au radiocarbone, isotopie, lipidomique et plus récemment protéomique. Elle va permettre de déterminer l'origine biologique et, parfois, géographique des constituants du matériau. Elle va également permettre d'apporter des informations sur les modifications subies par ce même matériau, qu'elles soient anthropogéniques ou liées au vieillissement naturel de l'objet. Des degrés de préservation pourront ainsi être établis et des processus d'altération élucidés, permettant de mieux conserver et restaurer les archéomatériaux. Des informations pourront également être obtenues sur les contextes environnementaux ou les procédés de fabrication. Un outil clé pour cette approche analytique est la spectrométrie de masse (Charrié-Duhaut, à paraitre), discipline qui par différentes technologies, permet d'étudier à la fois les composés de bas poids moléculaires (Charrié-Duhaut et coll., 2009a et 2009b) et les protéines (Solazzo et coll., 2014 ; Fresnais et coll., 2015 et 2017) présentes dans les cuirs, lainages, cheveux, fourrures, etc.

Dès à présent, il est important de signaler l'extrême complexité des études portant sur les archéomatériaux organiques dont l'une des principales spécificités tient à leur très grande diversité, qu'il s'agisse de leur composition, de leur fabrication et de leurs utilisations mais encore, comme nous l'expliquerons ci-après, de leur conservation.

2.2. La conservation de la matière organique en contexte archéologique

La conservation de la matière organique est propre aux archéomatériaux, périssables par essence. Cette spécificité va conditionner les investigations entreprises et les interprétations qui en résulteront. Il va de soi que les matériaux se dégradent en phase d'utilisation comme par la suite en phase d'enfouissement. De même, après sa découverte l'objet est soumis à une nouvelle phase d'altération qu'il est important de prévenir au maximum, ce qui n'est pas forcément aisé. Le plus souvent cela passe par des choix, notamment lorsqu'il s'agit d'objets composites, pour lesquels sera privilégié un matériau (par ex. le métal) plutôt qu'un autre (par ex. le tissu).

Les processus de dégradation pouvant affecter un objet dépendent d'une part de la nature du ou des matériaux qui le constitue (propriétés physiques, composition chimique) et d'autre part du milieu d'enfouissement. Dans leur environnement, les objets archéologiques sont, en effet, soumis à des modifications diagénétiques classiques induites par le pH, l'humidité relative, l'oxygène (oxydation, hydrolyse), la lumière (photo-oxydation), la pression, mais ils peuvent aussi être affectés par les micro-organismes tels que des champignons et des bactéries (biodégradation) (Peters et coll., 2005).

Les conceptions sont cependant différentes selon l'échelle choisie : macroscopique, microscopique ou biomoléculaire.

À l'échelle macroscopique ou microscopique, les matériaux organiques peuvent être conservés sous une forme non altérée : ils n'ont alors subi aucun changement susceptible de modifier leur structure et peuvent être identifiés. Les contextes sont alors très particuliers : froid et sec (par ex. les sépultures gelées d'Asie centrale, ou celles des hauts plateaux andins ; Debaine-Francfort & Idriss, 2001 ; Lavallée, 2008), chaud et sec (par ex. les vestiges d'Antinoé, cf. Lintz & Coudert, 2013 ; Rutschowscaya, 1990 ; Collectif, 2001), humide et anaérobie (par ex. les barques gallo-romaines du parking Saint-Georges à Lyon ou celle d'Arles-Rhône 3 ; Médard, 2011 et 2014), mines de sel (notamment celles de Hallstatt ; Grömer et coll., 2013), émanation de gaz (par ex. les sépultures des Martres-De-Veyre, cf. Audollent, 1923 ; Lorente Sebastian et coll., à paraître). Ils peuvent aussi avoir été dégradés (carbonisation, minéralisation) et présenter des transformations physico-chimiques visibles comme les tissus carbonisés de Pompéi (Médard, 2020), l'identification devenant plus délicate dans ce cas.

À l'échelle biomoléculaire, que les matériaux soient visibles ou non, ils sont tous caractérisés par une empreinte moléculaire. Celle des précurseurs biologiques peut être conservée ou modifiée par action anthropogénique, modifications diagénétiques ou vieillissement naturel. Elle est accessible par spectrométrie de masse (lipidomique et protéomique). L'identification des modifications au niveau moléculaire permet les caractérisations des matériaux et des processus de fabrication (Bailly, 2016 ; Charrié-Duhaut et coll., 2016) aussi bien que la mise en évidence des processus d'altération pour mieux analyser, conserver et restaurer.

3. La minéralisation : processus et incidences sur la matière

En archéologie, le mobilier métallique corrodé constitue un support particulièrement favorable à l'observation des processus de décomposition des matériaux. Le contexte funéraire constitue un milieu spécifique, souvent favorable à la dégradation des matières organiques comme à l'altération des matériaux inorganiques. L'agressivité du milieu (acides organiques et composés ammoniaqués issus de la décomposition des corps) provoque la dégradation des métaux et notamment du fer, métal particulièrement vulnérable à la corrosion. Un phénomène proche de celui de la fossilisation survient alors : le métal piège, dans sa gangue de corrosion, par migration des sels métalliques, les éléments organiques avec lesquels il est en contact.

Les processus exacts de minéralisation ne sont pas encore clairement élucidés. Des travaux récents montrent l'action conjointe de la minéralisation et de la silicification et confirment, une nouvelle fois, que de la matière organique peut encore être présente (Reynaud et coll., 2020). Contrairement à la corrosion du cuivre, dense et peu volumineuse, la corrosion du fer développe un volume parfois très important permettant de piéger plusieurs niveaux de matériaux organiques localisés dans un environnement proche [fig. 1]. Cette minéralisation des éléments périssables constitue l'ultime témoignage d'objets disparus, dans la plupart des cas riches d'informations inédites (vêtements, accessoires vestimentaires, linceuls, mobilier textile, emballages, etc.).

L'analyse de ces vestiges organiques d'une grande diversité (bois, textile, cuir, peau, fourrure, plume, etc.), pour peu qu'on sache les reconnaître, constitue un axe de recherche fondamental en archéologie ; elle repose sur des vestiges que l'on sait aujourd'hui capables de renseigner, à partir de fragiles témoignages, des pans entiers du fonctionnement des sociétés anciennes.



Fig. 1 - Gauche : plusieurs épaisseurs de restes organiques minéralisés au contact d'une plaque boucle en fer d'époque wisigothique (Saint-Laurent-des-Hommes, Dordogne). Droite : épaisseur unique de textile bien conservé au contact de l'alliage cuivreux d'une fibule mérovingienne (Erstein Limersheimer Weg, Bas-Rhin). (Clichés : F. Médard, Anatex)



Fig. 2 - L'objet en fer in situ avant la fouille. En bleu-gris : objet en fer non corrodé avant enfouissement. En brun : objet en fer corrodé dans son milieu d'enfouissement. (C. Proust, ArcheoCR)

Plus tôt les objets sont examinés après la fouille, plus les informations recueillies sont riches et variées. Idéalement, il est préférable d'effectuer les observations avant le nettoyage des objets, c'est à dire en amont des traitements de conservation-restauration. Les variations climatiques tout comme les manipulations, sans aller jusqu'aux traitements de stabilisation, endommagent considérablement ces fragiles vestiges, quand ils ne les font pas totalement disparaître.

Les restes organiques minéralisés constituent un champ d'investigation directement lié à l'étude de l'objet archéologique en métal, dont ils dépendent en termes de conservation et de caractérisation. Leur présence peut résulter d'un contact fortuit ou d'une localisation fonctionnelle (Glynis, 1989). Leur position sur l'objet métallique est essentielle : elle va permettre de comprendre leur fonction. Il est donc indispensable de préserver l'ensemble de ces matériaux, afin de pouvoir mener les investigations nécessaires à leur compréhension. C'est précisément à ce stade qu'une conservation-restauration raisonnée joue un rôle de première importance.

L'objet métallique, dans son milieu d'enfouissement, a atteint un état stationnaire que l'on qualifie d'équilibre chimique du matériau. Il en résulte une stratigraphie des niveaux de corrosion du métal, au-dessus desquels se situent les couches de matériaux organiques minéralisés. Cet ensemble résulte des mécanismes associés de la corrosion du métal, de la diffusion des sels métalliques et de la décomposition de la matière organique (Chen et coll., 1998) [fig. 2].

La mise au jour de l'objet au moment de la fouille perturbe grandement cet état stationnaire. Les changements thermiques et hygrométriques, comme l'apport massif d'oxygène, vont entraîner un déséquilibre ; on parle de déplacement de l'équilibre chimique. Les mécanismes de corrosion vont être réactivés afin de permettre au matériau métallique de retrouver un nouvel état stationnaire, et un nouvel équilibre chimique dans son nouvel environnement [fig. 3]. Mais cette reprise de corrosion va entraîner d'importantes perturbations de la matière, bien connues des professionnels de l'archéologie : fragmentations, fissurations, écaillages, etc. [fig. 4], mais aussi altération des couches organiques se trouvant en surface. C'est pourquoi, dès la phase de mise au jour des vestiges, il est indispensable de mettre en place des mesures conservatoires pour limiter et enrayer ce phénomène naturel [fig. 5]. La poursuite des investigations en dépend.

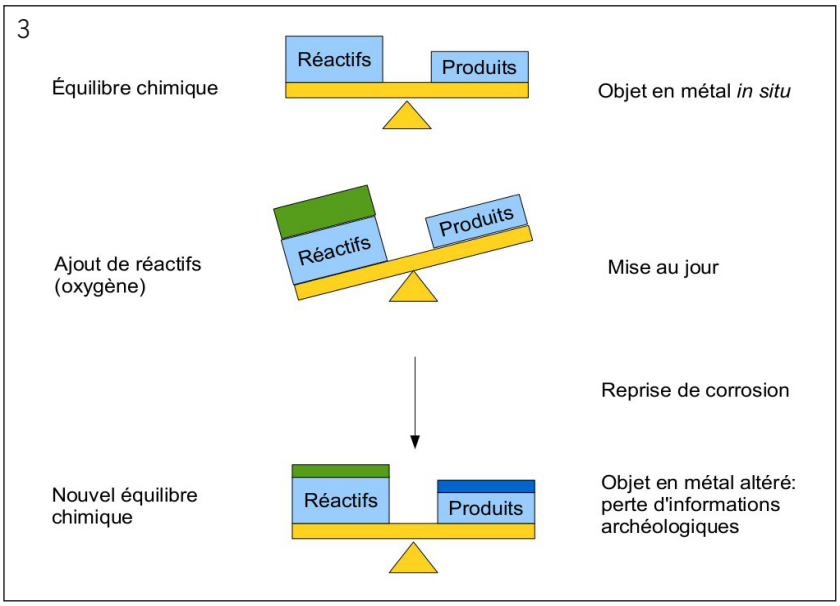
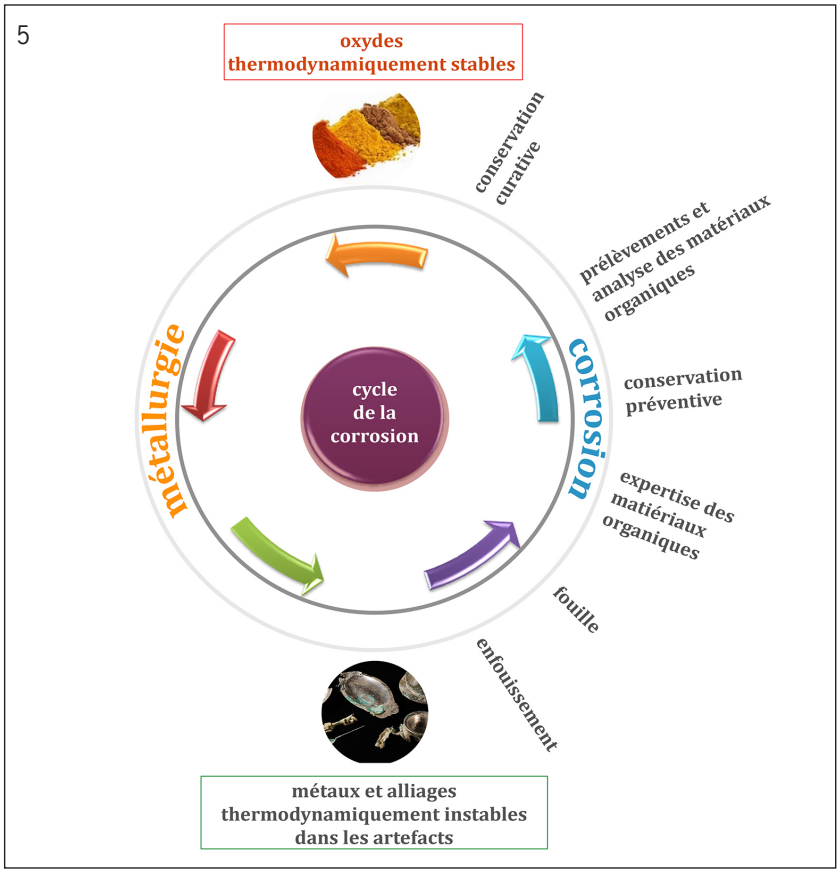


Fig. 3 - Déplacement de l'équilibre chimique après exhumation du mobilier métallique. (C. Proust, ArcheoCR, 2015)

Fig. 4 - Reprise de corrosion sur une boucle en fer : soulèvement des couches, fissurations, fragmentations. Les produits de corrosion sous forme de poudre orangée (akaganéite) témoignent de la réactivation de la corrosion. (C. Proust, ArcheoCR, 2015)

Fig. 5 - Cycle de corrosion du métal et mise en place d'une chaîne d'étude et de conservation.





4. Méthodologie

Ces dernières années, l'intérêt porté aux matériaux organiques fossilisés a été croissant. Quelques projets leur sont désormais totalement ou en partie dédiés. Ils constituent l'un des axes de recherche comme dans les programmes collectifs de recherche (PCR) intitulés L'étude des matériaux organiques dans les tombes du haut Moyen-Age : un apport à la connaissance des pratiques funéraires et des vêtements ? (Carré et coll., 2018) et Espaces et pratiques funéraires en Alsace aux époques mérovingiennes et carolingiennes (V^{e}-X^{e} siècles) (Barrand-Emam & Châtelet, 2015 et 2017 ; Barrand-Emam et coll., 2014, 2018, 2019 et 2020). Les travaux se multiplient mais les études interdisciplinaires restent encore trop rares (Médard et coll., 2018).

Se posent alors de nombreuses questions : que faire de ces matériaux dont l'existence est soupçonnée et qui sont conservés d'une façon qui n'est pas toujours optimale ? Espère-t-on en tirer un jour une information ? Les différents travaux réalisés indiquent clairement qu'une optimisation de la chaîne opératoire, du terrain aux lieux de conservation définitifs des biens archéologiques mobiliers, doit être réalisée. De nouveaux questionnements apparaissent qui résonnent à chaque étape de la prise en charge : choix et priorité des analyses à réaliser, budgets à prévoir, problèmes de contamination et de dégradation au cours de la post-fouille (voir *supra*, point 3 « reprise de corrosion »).

Dans cette perspective, un groupe de travail local alsacien constitué d'archéologues, de régisseurs des collections, de conservateurs-restaurateurs et de spécialistes des matériaux organiques archéologiques (coordinatrices : H. Barrand-Emam, A. Charrié-Duhaut, F. Médard et C. Proust) a entrepris, en étroite collaboration avec le SRA Alsace, une réflexion collective sur le déroulé des études et des analyses directement associées aux pratiques conservatoires tout au long de la chaîne opératoire de l'archéologie. Il s'agit également de répertorier les différents contextes et d'évaluer leur impact sur la conservation de la matière organique. La priorité est donnée à l'archéologie préventive, pour laquelle les décisions doivent être anticipées en raison de délais souvent très courts pour réagir.

Cependant, il est à noter que les mêmes stratégies doivent être appliquées sur l'ensemble des collections archéologiques, même anciennes et présentant des contaminations avérées, en particulier lorsque des analyses moléculaires et isotopiques sont envisagées, ces dernières étant basées sur l'identification structurale précise de biomarqueurs (cf. point 2).

La méthodologie proposée tient compte à la fois des impératifs liés aux matériaux et du chassé-croisé des interventions des différents spécialistes [fig. 6]. L'inter- et la multidisciplinarité est au cœur de cette approche. Cette dernière se décompose en différentes phases débutant dès l'établissement du cahier des charges. Il est en effet important de noter que la fiabilité des résultats (en particulier chimiques) et leur interprétation dépend fortement de la réflexion archéologique qui a été apportée en amont, avant même le prélèvement. Ainsi, archéologues, régisseurs des collections, conservateurs-restaurateurs, spécialistes des matériaux organiques et tout autre intervenant doivent définir avec précision la problématique liée à l'objet. Cette réflexion guide, entre autre, la phase de prélèvement (quand, comment, où, nombre d'échantillons, priorités scientifiques et financières) et permet de définir la stratégie analytique à adopter. Interviendront ensuite des phases de terrain, d'investigation, de documentation et au final d'interprétation.

Un examen des objets le plus rapidement après leur sortie de terre permet le recueil d'informations riches et variées. Idéalement, il est préférable d'effectuer

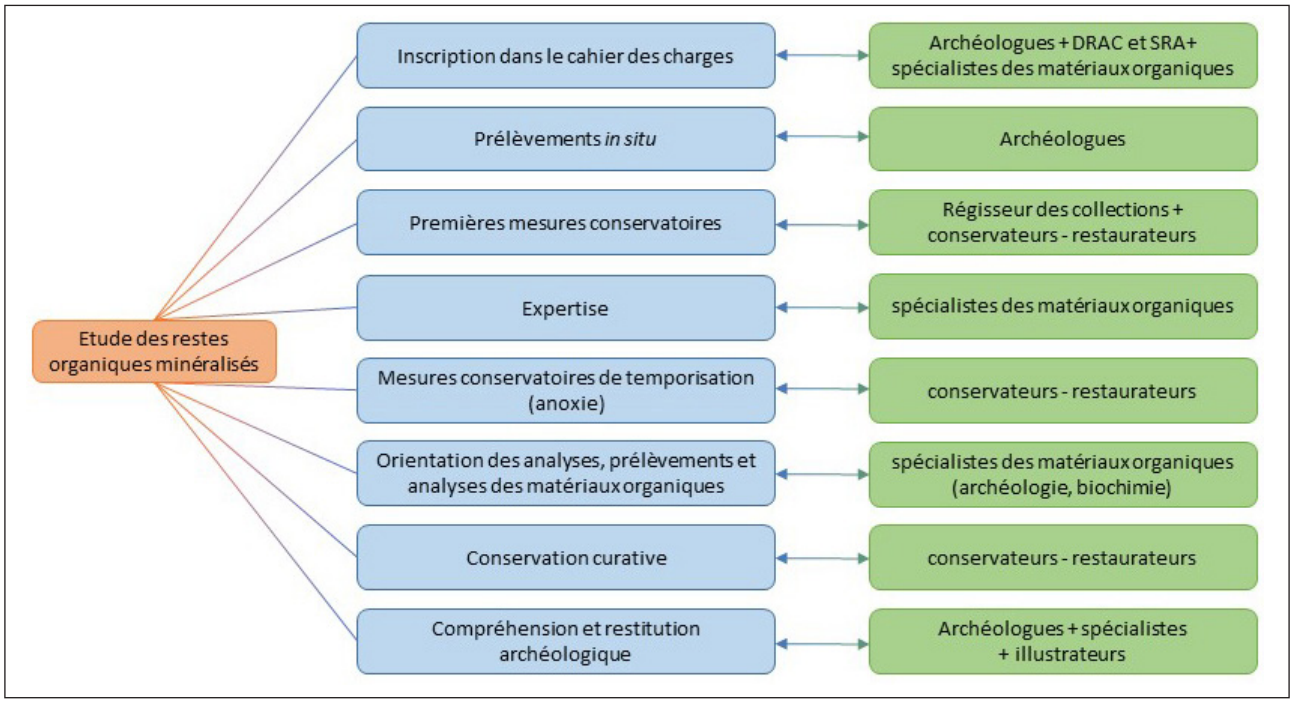


Fig. 6 - Chaîne opératoire proposée pour l'étude des restes organiques minéralisés.

les observations avant ou en parallèle du nettoyage des objets, avant tout traitement de consolidation et stabilisation. Les variations climatiques, qui entraînent des reprises de corrosion, ainsi que la multiplication des manipulations, endommagent considérablement ces fragiles vestiges, quand ils ne les font pas totalement disparaître. Une brochure dédiée au prélèvement, au stockage et à l'étude physico-chimique a été éditée afin de sensibiliser les différents acteurs au déroulé de ces opérations (Charrié-Duhaut et coll., 2020).

Le mobilier découvert peut être abondant et diversifié. Il est donc illusoire d'entreprendre une étude exhaustive des collections du fait des contraintes de temps mais aussi des problématiques financières. Il faut donc expertiser et faire des choix restrictifs en fonction de la qualité ou de l'intérêt des matériaux organiques identifiés. Deux points, détaillés ci-dessous, se révèlent alors primordiaux : les premières mesures conservatoires entre le prélèvement *in situ* et la phase étude, et l'expertise.

4.1. Premières mesures conservatoires entre le prélèvement in situ et la phase étude

Après la découverte, les étapes seront encore longues et nombreuses jusqu'au lieu de conservation final. Les manipulations des objets seront multipliées, les changements environnementaux seront nombreux, les conditionnements pas toujours appropriés, des prélèvements seront réalisés. Les risques d'altération du vestige sont présents à chaque étape et sont inhérents à la chaîne opératoire (Proust, 2020).

S'il n'est pas possible de supprimer les risques de la chaîne opératoire de l'archéologie, il est possible de les contrôler et donc de les limiter en investissant davantage dans la prévention. C'est le rôle du conservateur-restaurateur d'apporter son expertise pour mettre en place les stratégies de conservation préventive : « La conservation préventive regroupe l'ensemble des actions entreprises indirectement sur les biens culturels. Elle agit sur leur environnement afin d'en retarder la détérioration ou d'en prévenir les risques d'altération. Ces interventions permettent de favoriser ou de créer les conditions optimales de préservation du patrimoine culturel, compatibles avec son usage social » (FFCR, n. d.).

Pour mettre en place la conservation préventive sur le terrain, il est indispensable de bien connaître les matériaux constitutifs des objets découverts sur la fouille, leur état de conservation et le sédiment dans lequel ils sont enfouis (Proust, 2015). Cela implique également d'avoir une personne dédiée à la prise en charge des vestiges sur le terrain, formée aux gestes et aux stratégies de conservation : la protection sur site, le prélèvement, le dégagement, etc., sont des étapes clefs qui minimisent les altérations mécaniques de la fouille. Une fois l'objet sorti de son contexte d'enfouissement, le suivi est la ligne de force qui va permettre la meilleure conservation possible de l'objet. Ici encore, une personne formée et dédiée à cette tâche est nécessaire (Proust, 2020). Chaque site est un cas particulier. La stratégie de conservation préventive doit être adaptée au contexte, aux sédiments, aux vestiges. On comprend ici l'importance de l'anticiper en amont dans le cahier des charges à partir des données collectées lors du diagnostic.

4.2. L'expertise

Nous souhaitons ici attirer l'attention sur la nécessité de systématiser l'expertise des résidus organiques par un spécialiste de la matière organique, en amont de l'étude du mobilier et en collaboration avec les conservateurs-restaurateurs.

Cette étape permet non seulement d'apprécier le volume et la qualité des matériaux périssables présents sur un site, mais également de dresser un inventaire utile à de futures décisions portant sur les options d'analyse ou de restauration. Enfin, elle met en évidence les données perdues quand aucune étude n'est engagée (Médard, 2017).

Lorsque la décision est prise de réaliser des analyses, il est conseillé de les mener sur des vestiges « bruts de fouille ». Malgré la gêne occasionnée par le sédiment, il est préférable de consacrer du temps au dégagement sommaire des objets plutôt que de risquer la disparition complète des éléments organiques souvent très fragiles. Pour n'évoquer que les restes textiles, ils sont fréquemment soulevés par la corrosion et exposés à la surface des objets selon des reliefs plus ou moins chaotiques. Fragilisés par la minéralisation, ils le sont aussi par leur position affleurante ; les manipulations, les nettoyages et les bains leur sont souvent fatals. Ainsi est-il nécessaire de mener les opérations dans l'ordre précisé ci-après.

Une fois la documentation des vestiges organiques effectuée, le nettoyage méticuleux des pièces peut être engagé en laboratoire de conservation-restauration. Il permettra parfois de détecter des matériaux qui n'avaient pas été perçus en première lecture, comme de préciser les processus et les degrés de dégradation qui leur sont associés (Médard et coll., 2018).

5. Méthodologie appliquée : l'exemple de la nécropole mérovingienne de Merxheim

Le schéma opératoire ainsi que la méthode d'investigation, présentés ci-dessus, ont été appliqués lors de la fouille de l'ensemble funéraire alto-médiéval de Merxheim « Obere Reben » (Haut-Rhin) (Médard et coll., 2018). Dès l'exhumation des vestiges, l'ensemble du mobilier funéraire et des matériaux organiques ont bénéficié d'un prélèvement adapté : les objets métalliques fragiles ont été placés dans des mousses creusées en fonction de la forme de l'objet et entourés d'un film plastique pour éviter tout mouvement, fracturation ou perte de matière. Les résidus de matières organiques présentes sous les objets métalliques ont été prélevés précautionneusement et déposés dans du papier aluminium au sein de sachet Minigrip. L'ensemble du mobilier sensible a ensuite été placé dans un espace à atmosphère contrôlé dans l'attente de l'intervention des spécialistes.

La phase d'expertise a représenté un travail considérable puisque 592 objets ont été examinés. Des restes de matières organiques ont été identifiés sur 60% des objets métalliques. Les proportions des différentes catégories de substances organiques identifiées sur le mobilier métallique se déclinent ainsi : cuir 31,50%, bois 28%, textile 19%, indéterminé 16%, insectes 3,20%, fourrure 1,90%, peau 0,20% et plumes 0,20%.

Cette première expertise a ensuite permis d'opérer des choix raisonnés pour la suite des analyses, basés sur la qualité de conservation des sépultures, du mobilier ainsi que des vestiges organiques associés.

Au-delà de la documentation matérielle des objets découverts lors de l'opération archéologique, cette étude a offert l'opportunité de valoriser l'interdisciplinarité mise en place, en associant les données archéologiques et historiques (contexte historique, datation, zone de prélèvement, âge de l'échantillon, etc.), micro-stratigraphiques, macroscopiques (observations à la loupe binoculaire et au MEB) et biochimiques (techniques chromatographiques couplée à la spectrométrie de masse). Les résultats ont ainsi pu être interprétés taphonomiquement.

L'analyse complète et l'interprétation des données acquises lors de cette étude interdisciplinaire ont fait l'objet d'un article publié dans la *Revue archéologique de l'Est* (Médard et coll., 2018). Nous ne citerons ici que quelques exemples provenant de la sépulture masculine 258. Les observations macro- et microscopiques ont permis de discerner la présence d'un baudrier en cuir probablement enroulé autour d'une épée longue. Les lanières qui le composaient étaient ornées de fourrure directement cousues sur le cuir (dispositif décrit dans les sources historiques : Sidoine Apollinaire, *Epistulae* ; Carré et coll., 2014). Des traces de bois étaient également présentes à proximité du cuir, provenant très certainement du fourreau de l'épée en contact avec le baudrier. Au dos du défunt était placé un couteau, sans doute initialement passé dans sa ceinture. Ce dernier était glissé dans un fourreau en cuir, dont la fourrure était tournée contre la lame. Cette utilisation de fourrure à l'intérieur des fourreaux est connue pour les épées longues, notamment en Alsace, en Allemagne et en Suisse. La fourrure permet de retenir la lame à l'intérieur en même temps qu'elle lustre le métal (Pillard-Jude, 2004 ; Châtelet, 2009 ; Menghin, 1983). Enfin, des plumes associées à un tissu grossier ont été observées sur plusieurs objets, dont des appliques, réparties sur la moitié supérieure du corps et retrouvées au contact du défunt et du fond de la fosse sépulcrale. Ces vestiges de plumes, rarement mis en évidence, pourrait suggérer ici la présence d'un matelas ou d'un édredon placé sous le corps à l'instar de ce qui a déjà été avancé pour les sites allemands de Laucheim (Bade Wurtemberg) et de Munningen (Bavière) ou Suisses de Flaach et d'Elgg (canton de Zurich). La caractérisation des plumes effectuée par Jacques Cuisin (MHN) a permis d'émettre une autre hypothèse. L'association des plumes et du tissu grossier pourraient attester la présence d'une cape ou d'une pèlerine sur laquelle les plumes auraient été cousues (Périn & Calligaro, 2005).

La combinaison des observations réalisées lors de la fouille avec celle des matériaux organiques a livré des données inédites qui ont permis d'enrichir nos connaissances et d'alimenter de nouvelles pistes de réflexions sur le costume funéraire, sur les artisanats à l'œuvre, sur le port comme le dépôt de pièces d'arme et de mobilier, sur les mises en scène lors des funérailles et sur l'aménagement des sépultures. La synthèse de l'ensemble des données obtenues grâce à cette étude interdisciplinaire a permis d'aboutir à une proposition de restitution de cette sépulture masculine alto-médiévale [fig.7].



Fig. 7 - Proposition de restitution d'une sépulture masculine privilégiée (fin VI^e^ - début VII^e^) provenant de l'ensemble funéraire de Merxheim « Obere Reben ». (Restitution : Benoît Clarys, PCR funéraire mérovingien Alsace)

6. Conclusion

Les études entreprises récemment sur les restes organiques minéralisés montrent tout le potentiel de l'approche interdisciplinaire mise en place comme la nécessité de repenser les chaînes opératoires en tenant compte de l'ensemble des contraintes inhérentes à une opération archéologique (financières, techniques, scientifiques, de temps).

Encore peu développés car complexes, ces travaux apportent un nouveau regard sur notre connaissance des cultures anciennes ; ils permettent également de progresser sur les méthodes de prélèvements et de conservation du mobilier archéologique sensible comme sur la spécificité des matériaux organiques qui leur sont associés. À terme, ils permettront de mieux identifier les processus de dégradation et d'orienter les méthodes de traitements conservatoires.

Remerciements

Nous remercions l'Inrap et, en particulier, le comité d'organisation de ce 4e séminaire scientifique et technique intitulé B*ioarchéologie : minimum méthodologiques, référentiels communs et nouvelles approches* (Sélestat, 28-29 novembre 2019) pour nous avoir permis de présenter nos résultats et réflexions ainsi que pour la qualité de l'organisation.

Bibliographie

Audollent, Auguste. (1923). Les tombes gallo-romaines à inhumation des Martres-de-Veyre (Puy-de-Dôme). Dans *Mémoires de l'Académie des Sciences et Belles Lettres*, *13-1* (p. 275-328). Paris : Imprimerie Nationale. Disponible en ligne sur <https://www.persee.fr/doc/mesav_0398-3587_1923_num_13_1_1108> (consulté le 17 décembre 2020).

Bailly, Lucile, Adam, Pierre, Charrié, Armelle & Connan, Jacques. (2016). Identification of alkylguaiacyl dehydroabietates as novel markers of wood tar from Pinaceae in archaeological samples. *Organic Geochemistry*, *100*, 80-88. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2016.07.009>.

Barrand-Emam, Hélène & Châtelet, Madeleine. (2017). *Espaces et pratiques funéraires en Alsace aux époques mérovingienne et carolingienne (V^e^-X^e^ siècles), Projet Collectif de Recherche 2015-2018* (Rapport d'activité 2016). Strasbourg : SRA Alsace. 454 p.

Barrand-Emam, Hélène & Châtelet, Madeleine. (2015). *Espaces et pratiques funéraires en Alsace aux époques mérovingienne et carolingienne (V^e^-X^e^ siècles). Projet Collectif de Recherche 2015-2018* (Rapport d'activité 2015). Strasbourg : SRA Alsace. 300 p.

Barrand-Emam, Hélène & Châtelet, Madeleine & Abert, Franck. (2018). *Espaces et pratiques funéraires en Alsace aux époques mérovingienne et carolingienne (V^e^-X^e^ siècles). Projet Collectif de Recherche 2015-2018* (Rapport d'activité 2017). Strasbourg : SRA Alsace. 300 p.

Barrand-Emam, Hélène & Châtelet, Madeleine & Koziol, Agnieszka. (2014). *Espaces et pratiques funéraires en Alsace aux époques mérovingienne et carolingienne (V^e^-X^e^ siècles). Projet Collectif de Recherche 2015-2018*. Strasbourg : SRA Alsace. 30 p.

Barrand-Emam, Hélène, Chenal, Fanny & Abert, Franck. (2020). *Espaces et pratiques funéraires en Alsace aux époques mérovingienne et carolingienne (V^e^-X^e^ siècles), Projet Collectif de Recherche 2015-2018* (Rapport d'activité 2019). Strasbourg : SRA Alsace. 164 p.

Barrand-Emam, Hélène, Chenal, Fanny, Abert, Franck. (2019). *Espaces et pratiques funéraires en Alsace aux époques mérovingienne et carolingienne (V^e^-X^e^ siècles). Projet Collectif de Recherche 2015-2018, Bilan d'activité 1ère triennale (2015-2018)* (Rapport d'activité 2018). *Programmation 2ème triennale (2019-2021)*. Strasbourg : SRA Alsace. 546 p.

Carré, Florence, Rast-Eicher, Antoine, Bell, Bruno & Boisson, Julien. (2018). L'étude des matériaux organiques dans les tombes du haut Moyen Âge (France, Suisse et Allemagne occidentale) : un apport majeur à la connaissance des pratiques funéraires et du vêtement. *Archéologie médiévale*, *48*. <https://doi.org/10.4000/archeomed.16342>.

Carré, Florence, Rast-Eicher, Antoine, Bell, Bruno & Boisson, Julien. (2014). L'étude des matériaux organiques dans les tombes du haut Moyen Âge : un apport à la connaissance des pratiques funéraires et des vêtements ? Dans Collectif, *Journées archéologiques de Haute-Normandie, Alizay, 20-22 juin 2014* (p. 195-214). Mont-Saint-Aignan : Presses universitaires de Rouen et du Havre.

Charrié-Duhaut, Armelle, Burger, Pauline, Maurer, Joachim, Connan, Jacques & Albrecht, Pierre. (2009). Molecular and isotopic archaeology: Top grade tools to investigate organic archaeological materials. *Comptes Rendus Chimie*, *12 (10-11)*, 1140-1153. <https://doi.org/10.1016/j.crci.2009.01.001>.

Charrié-Duhaut, Armelle, Connan, Jacques, Darnell, Mike, Spangenberg, Jorge, Szymczyk, Ewa, Bissada, Adry & Albrecht, Pierre. (2009). Molecular and isotopic characterization of organic samples from the wreck of the Saint-Etienne merchant ship (XVIII^th^ century): identification of pitch, fat, hair and sulfur. *Organic Geochemistry*, *40 (5)*, 647-665. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2009.01.006>.

Charrié-Duhaut, Armelle, Leroy, Marc (coll.), Deffressigne, Sylvie (coll.), Médard, Fabienne (coll.), Barrand-Emam, Hélène (coll.) & Fischbach, Thomas (coll.). (à paraitre). Sur la piste des matériaux organiques grâce à la

spectrométrie de masse. DansB. Béhague, M. Higelin, A. Mulot (dir.), *Métal et matériaux périssables : actes des 7e Journées d'étude Corpus* (p. 17-26, pagination provisoire). Drémil-Lafage : Éditions Mergoil.

Charrié-Duhaut, Armelle, Porraz, Guillaume, Igreja, Marina, Texier, Pierre-Jean & Parkington, John E. (2016). Holocene hunter-gatherers and adhesives manufacture in the West Coast of South Africa. *Southern African Humanities*, *29 (1)*, 283-306. <https://hdl.handle.net/10520/EJC-55c2117cd>.

Charrié-Duhaut, Armelle, Médard, Fabienne & Mazuy, Arnaud. (2020). *Bio-archéologie : sensibilisation au prélèvement, au stockage, à l'étude physico-chimique de macro/micro-résidus organiques*. Zenodo. <http://doi.org/10.5281/zenodo.4008867>.

Châtelet, Madeleine (dir.). (2009). Matzenheim « Bodengewann » et Osthouse « Galgen » (Bas-Rhin) : deux nécropoles mérovingiennes en limite de ban (Rapport de fouilles, 2 vol.). Dijon : Inrap Grand Est Sud. 172, 241 p. <http://dolia.inrap.fr/flora/ark:/64298/018847>.

Chen, H.L., Jakes, K.A. & Foreman, D.W. (1998). Preservation of archaeological textiles through fibre mineralization. *Journal of archaeological science*, *25 (10)*, 1015-1021. <https://doi.org/10.1006/jasc.1997.0286>.

Collectif. (2001). Au fil du Nil. *Couleurs de l'Égypte chrétienne. Catalogue d'exposition du Musée Dobrée, Nantes, 19 oct. 2001-20 janv. 2002*. Paris : Somogy Éditions d'Art. 204 p.

Debaine-Francfort, Corinne & Idriss, Abduressul (dir.). (2001). *Keriya, mémoires d'un fleuve. Archéologie et civilisation des oasis du Taklamakan*. Paris : Éditions Findakly. 245 p.

FFCR. (n. d.). *La conservation préventive* (Les fiches pratiques de la Fédération française des professionnels de la conservation-restauration, n°3). Disponible en ligne sur <http://ffcr.fr/files/pdf%20permanent/fiche03.pdf> (consulté le 17 décembre 2020).

Fresnais, Margaux, Richardin, Pascale, Gimat, Alice, Sepùlveda, Marcela, Leize-Wagner, Emmanuelle & Charrié, Armelle. (2015). Recent advances in the characterization of hair of mummies from the Chilean Andean coast. *Forensic Science International*, *249*, 25-34. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.01.005>.

Fresnais, Margaux, Richardin, Pascale, Sepulveda, Marcela, Leize-Wagner, Emmanuelle & Charrié-Duhaut, Armelle. (2017). Omics for Precious Rare Biosamples: Characterization of Ancient Human Hair by Proteomic Approach. OMICS: *A Journal of Integrative Biology*, *21 (7)*, 361-370. <https://doi.org/10.1089/omi.2017.0067>.

Glynis, Edwards. (1989). Guidelines for dealing with material from sites where organic remains have been preserved by metal corrosion products. Dans R. Janaway & B. Scott, *Evidence preserved in corrosion products: New fields in artefacts studies. Proceedings of a joint conference between UKIC Archaeology Section and the Council for British Archaeology Science Committee, Leeds, 1983* (p. 3-7). Londres : UKIC.

Grömer, Karina, Kern, Anton, Reschreiter, Hans & Rösel-Mautendorfer, Helga (dir.). (2013). *Textiles from Hallstatt. Weaving culture in Bronze Age and Iron Age Salt Mines* (Archaeolingua, 29). Budapest, Hongrie : Archaeolingua Kiadó. 574 p.

Lavallée, Danielle. (dir.) (2008). *Paracas. Trésors inédits du Pérou ancien. Catalogue d'exposition du Musée du Quai Branly, Paris, 1er avril-13 juill*. 2008. Paris : Éditions Flammarion. 215 p.

Lintz, Yannick & Coudert, Magali (dir.). (2013). *Antinoé : Momies, textiles, céramiques et autres antiques*. Paris : Éditions d'Art Somogy. 599 p.

Lorente Sebastian, Paloma, Médard, Fabienne & Breniquet, Catherine (à paraitre). New approaches to study the exceptional collection from Gallo-Roman site Les Martes-de-Veyres (Puy-de-Dôme, France). Dans *7th International Symposium on Textiles and Dyes in the Mediterranean economy and society, Granada, Oct. 2-4, 2019*.

Médard, Fabienne. (2020). L'*artisanat du textile à Pompéi au 1er siècle après J.-C.* Naples : Centre Jean Bérard. 294 p.

Médard, Fabienne. (2014). Les tissus associés à la construction du chaland Arles-Rhône 3 : qualité et gestion de la

matière première. Dans S. Marlier (dir.), *Arles-Rhône 3, un chaland gallo-romain du Ier siècle après Jésus-Christ* (p. 116-125). Paris : CNRS éditions.

Médard, Fabienne. (2011). Textiles archéologiques et archéologie navale. L'exemple des tissus gallo-romains du Parc Saint-Georges. Dans G. Boetto, P. Pomey & A. Tchernia (dir.), *Batellerie gallo-romaine. Pratiques régionales et influences maritimes méditerranéennes* (p. 105-117). Paris : Bibliothèque d'Archéologie Méditerranéenne et Africaine-9, Editions Errance/Centre Camille Jullian.

Médard, Fabienne, Barrand-Emam, Hélène, Charrié-Duhaut, Armelle, Ridacker, Cyprien, Fischbach, Thomas, Cuisin, Jacques & Kopf, Stephan. (2019). Les matériaux organiques dans les sépultures du Haut Moyen Âge en Alsace : état de la recherche et étude de cas provenant de la nécropole de Merxheim Obere Reben (Haut-Rhin). *Revue archéologique de l'Est*, *67*, 335-349. Disponible en ligne sur <http://journals.openedition.org/rae/11291> (consulté le 17 décembre 2020).

Médard, Fabienne & Routier, Jean-Claude (coll.). (2017). L'étude des vestiges textiles : histoire, problématiques, moyens et priorités : l'exemple des nécropoles mérovingiennes du Nord de la France. Dans I. Leroy & L. Verslyppe L. (dir.), *Communauté des vivants, compagnie des morts. Actes des 35e journées internationales d'archéologie mérovingienne, Douai, 9-11 oct. 2014* (p. 139-154). Association française d'archéologie mérovingienne.

Menghin, Wilfried. (1983). Das Schwert im frühen Mittelalter: chronologischtypologische Untersuchungen zu Langschwertern aus germanischen Gräbern des 5. Bis 7. Jahrhunderts n. Chr., Stuttgart, K. Theiss Verlag. *Wissenschaftliche Beibände zum Anzeiger des Germanischen Nationalmuseums*, *1*, 368 p.

Périn, Patrick, Calligaro, Thomas, Buchet, Luc (coll.), Cassiman, J.J. (coll.), Darton, Yves (coll.), Gallien, Véronique (coll.), Poirot, J.P. (coll.), Rast, A. (coll.), Rücker, Claude (coll.), Vallet, Françoise (coll.). (2005). La tombe d'Arégonde. Nouvelles analyses en laboratoire du mobilier métallique et des restes organiques de la défunte du sarcophage 49 de la basilique de Saint-Denis. *Antiquités nationales*, *67*, 181-206.

Peters, Kenneth E., Walters, Clifford C. & Moldowan, J. Michael. (2005). *The Biomarker guide* (2e édition, 2 vol.). Cambridge, New York, Melborne : Cambridge University Press. 1132 p. <https://doi.org/10.1017/S0016756806212056>.

Pillard-Jude, Cécile. (2004). Des fourreaux d'épées remarquablement conservés. Dans P. Rohmer & B. Schnitzler (dir.), *Trésors mérovingiens d'Alsace. La nécropole d'Erstein (6e-7e siècle ap. J.-C.). Catalogue d'exposition du Musée archéologique de Strasbourg, Strasbourg, 22 oct. 2004 – 31 août 2005* (p. 54-55).

Proust, Clotilde. (2020). La conservation de l'objet archéologique : un enjeu pour la recherche. *Antiquités nationales*, *49*, 87-90.

Proust, Clotilde. (2015). La conservation préventive des métaux in situ, dialogue entre l'archéologue de terrain et le spécialiste en conservation-restauration ? Dans S. Clerbois (dir.), *La conservation-restauration des métaux archéologiques : des premiers soins à la conservation durable. Actes du colloque international, Bruxelles, 8-9 mai 2014* (p. 37-41). Namur, Belgique : Institut du Patrimoine wallon.

Regert, Martine, Garnier, Nicolas, Decavallas, Oreste, Cren-Olivé, Cécile & Rolando, Christian. (2003). Structural characterization of lipid constituents from natural substances preserved in archaeological environments. *Measurement Science and Technology*, *14 (9)*, 1620. <https://doi.org/10.1088/0957-0233/14/9/313>.

Reynaud, Corentin, Thoury, Mathieu, Dazzi, Alexandre, Latour, Gaël, Scheel, Mario, Li, Jiayi, Thomas, Ariane, Moulhérat, Christophe, Didier, Aurore & Bertrand, Loïc. (2020). In-place molecular preservation of cellulose in 5,000-year-old archaeological textiles. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *117 (33)*, 19670-19676. <https://doi.org/10.1073/pnas.2004139117>.

Rutschowscaya, Marie-Hélène. (1990). *Tissus coptes*. Paris : Adam Biro. 160 p.

Solazzo, Caroline, Walton Rogers, Penelope, Weber, Leslie, Beaubien, Harriet F., Wilson, Julie & Collins, Matthew.

(2014). Species identification by peptide mass fingerprinting (PMF) in fibre products preserved by association with copper-alloy artefacts. *Journal of Archaeological Science*, *49*, 524-535. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.06.009>.