

Cahier technique N° 23

XXIX^{es}

Retours d'expérience et actualité

**Actes des
Journées des restaurateurs en archéologie
organisées par le laboratoire Arc'Antique
Nantes, 15 et 16 octobre 2015**

Nantes 2015



avec la participation du Département de Loire-Atlantique
Grand Patrimoine de Loire-Atlantique – Laboratoire Arc'Antique

Association des restaurateurs d'art et d'archéologie
de formation universitaire

Avant-propos

Les 15 et 16 octobre 2015 de nombreux professionnels de la conservation-restauration en archéologie se réunissaient à Nantes, invités par le laboratoire Arc'Antique, pour réfléchir sur les retours d'expérience sur des traitements, ainsi que sur les actualités dans notre domaine. Les interventions ont suscité des échanges et des débats enrichissants pour tous.

Voici enfin les actes de ces XXIX^{es} Journées des restaurateurs en archéologie, premier Cahier technique de l'ARAAFU publié en numérique.

Nous remercions les auteurs de leur patience, ainsi que le Département de Loire-Atlantique – Grand Patrimoine de Loire-Atlantique – Laboratoire Arc'Antique pour sa participation à cette publication.

CT N° 23

RELECTURE ET CORRECTIONS

Pascale Le Roy-Lafaurie
Inocencia Queixalòs
Silvia Païn

COUVERTURE

Silvia Païn

MAQUETTE ET MISE EN PAGE

Laurent Tournier

ISBN : 978-2-907465-26-0

Sommaire

Avant-propos

4 LUCIE PIERI

Égypte : vers une restauration durable et locale.
Production et diffusion de l'emploi de la chaux
pour le ragréage du grès au temple de Ptah
à Karnak

14 JULIE MASSON-MACLEAN, ANA JORGE ET RICK KNECHT

Réponse collaborative à la conservation
de poteries préhistoriques arctiques :
défis et premiers résultats

26 HÉLÈNE HUYSSSEUNE

Conservation-restauration d'un ensemble
archéologique prélevé en motte : une sépulture
d'enfant du Haut Moyen Age (VII^e siècle,
Langenpreising, Bavière)

42 JULIE TOUZEAU

10 ans de conservation-restauration sur
les fouilles de Lattara : le cas de la zone 1
délimitée par des palplanches

48 MARINE CROUZET

Les composites archéologiques
et le conservateur-restaurateur

55 STÉPHANE LEMOINE

Faut-il déchlorurer les ferreux?

60 NICOLAS GARNIER

Analyses chimiques organiques et archéologie :
comment concilier les deux?

68 DELPHINE HENRI

Le « problème » du textile archéologique :
le point de vue d'une archéologue

72 ANAÏS BRAJA

« Fenêtre ouverte sur le passé », étude
et restauration de trois plaques de verre à vitre
gallo-romaines

78 EVE BOUYER, CRISTEL CAPPUCCI

Restauration « pour étude » ou « pour
exposition » : la signification de ces notions à
l'Agence wallonne du patrimoine (service public
de Wallonie)

87 ANAÏS LECHAT, HÉLÈNE COLLOMB

Mise en valeur des sculptures fragmentaires
en matériaux pierreux, en contexte muséal :
la photogrammétrie comme outil d'aide
à la décision

ÉGYPTE : VERS UNE RESTAURATION DURABLE ET LOCALE, PRODUCTION ET DIFFUSION DE L'EMPLOI DE LA CHAUX POUR LE RAGRÉAGE DU GRÈS AU TEMPLE DE PTAH À KARNAK

LUCIE PIERI

Résumé Les temples de Karnak, dont fait partie le temple de Ptah, ont fait l'objet de multiples campagnes de restauration depuis leur excavation à la fin du XIX^e siècle. L'utilisation de ciment noir en mortier pour le ragréage des parties lacunaires et en injection dans les joints accentue fortement les altérations liées à la cristallisation des sels dans le grès (désagrégation granulaire). La chaux aérienne locale est de qualité médiocre, c'est pourquoi une part plus ou moins importante de ciment est presque toujours ajoutée dans les mortiers.

Des recherches empiriques ont permis de formuler un mortier de ragréage à la chaux répondant à la fois aux contraintes de conservation, de mise en œuvre dans un climat désertique et d'approvisionnement en matériaux. Un long travail de dialogue a permis de convaincre les dirigeants locaux d'utiliser la chaux et d'organiser une petite production sur site.

Ces travaux ont été menés entre 2011 et 2013, dans le cadre d'un volontariat international du ministère des Affaires étrangères au Centre franco-égyptien d'étude des temples de Karnak (CFEETK – USR 3172 du CNRS / ministère des Antiquités d'Égypte), sous la direction de Christophe Thiers.

Le temple de Ptah : construction et anciennes restaurations

Le temple de Ptah (**fig. 1**) est situé au nord du domaine d'Amon-Rê à Karnak (Louxor). Bien que de petite taille, il est représentatif des altérations et des restaurations anciennes rencontrées à Karnak. Sa construction s'étale sur 1200 ans environ, entre 1400 et 200 avant J.-C., du règne de Thoutmosis III pour le sanctuaire aux dynasties koushites et ptolémaïques pour les portes.

Le grès utilisé pour la construction provient des carrières du Gebel Silsileh près d'Assouan, à une centaine de kilomètres au sud de Louxor. C'est un grès siliceux, cimenté par des oxydes de fer en faible proportion (1-2 %) qui le colorent du jaune au brun. Il est peu résistant, surtout en milieu humide. Sa porosité est élevée : entre 18 et 25 %, voire 28 % selon les sources (Martinet, 1992, p. 51; Traunecker, 1972). C'est donc un matériau très sensible aux phénomènes de cristallisation de sels.

Le temple de Ptah est un bon exemple des travaux entrepris sur la majorité des temples de Karnak : il a été redécouvert à partir du milieu du XIX^e siècle, dégagé en partie par Mariette en 1875 puis entièrement par Georges Legrain en 1896. La trace du niveau d'enfouissement original est bien visible sur les photos de Legrain (**fig. 2**). Cette ancienne zone d'évaporation

est particulièrement concentrée en sels hygroscopiques qui absorbent l'humidité atmosphérique en hiver.



Figure 1 Temple de Ptah, vue générale avant intervention. © CFEETK, J.F. Gout.



Figure 2 Temple de Ptah, avant dégagement par G. Legrain en 1896.
Source : Azim, Réveillac, 2004.

Le temple a été restauré à plusieurs reprises. Georges Legrain, directeur des travaux de Karnak de 1895 à 1917, reconstruit la partie supérieure effondrée des murs sud et est avec des blocs de grès de remploi, incluant parfois des fragments épigraphiés (**fig. 3**). Le mortier employé est soit à base de chaux, soit à base d'un mélange de chaux et de ciment, chargé avec de la poudre de brique pilée afin de lui donner des propriétés hydrauliques. Le même type de maçonnerie est utilisé pour le ragréage des parties basses dans le bâtiment principal et la cour. Ces réfections sont généralement bien conservées et ont causé peu de dommages.



Figure 3 Réfection des murs par G. Legrain vers 1900 en grès de remploi.
© CFEETK, L. Pieri.

Par la suite, dans les années 1930, son successeur Henri Chevrier redresse les portes, qui étaient au bord de l'effondrement, en systématisant l'emploi de ciment. Bien que ces interventions aient certainement sauvé les bâtiments à l'époque, les matériaux utilisés sont totalement incompatibles avec le grès. Le mortier de ciment noir et de sable employé et, surtout, un lait de ciment injecté dans les joints et fondations, ont provoqué en quelques dizaines d'années des altérations importantes (**fig. 4**).



Figure 4 Ragréage par H. Chevrier vers 1930 en brique et ciment noir.
© CFEETK, L. Pieri.

Altérations du grès et traitements

Les altérations se concentrent dans trois zones :

- au niveau de l'ancien sol, où sont encore présents les sels apportés par la terre sédimentée avant qu'elle soit dégagée, sels qui peuvent être remobilisés en hiver lorsque l'humidité atmosphérique est haute;
- dans les parties basses, soumises avant 1965 à la crue annuelle du Nil et, depuis la construction du haut barrage d'Assouan en 1965, aux remontées capillaires de la nappe phréatique dont le niveau s'est considérablement élevé;
- sous et à proximité des ragréages anciens réalisés au ciment noir, zones qui sont dans l'état le plus préoccupant aujourd'hui.

Hormis ces zones, les blocs en grès décorés en bas-relief sont dans un très bon état de conservation grâce au climat propice de Haute-Égypte : c'est un climat subdésertique, il ne pleut quasiment jamais et l'humidité atmosphérique est faible, sauf en hiver où elle oscille entre 40 et 60 % avec des pics à 80 % au lever du soleil.

La plupart des altérations sont liées aux remontées capillaires et à la cristallisation des sels. Les fissures, d'origine structurelle ou thermique, forment une interface d'évaporation où cristallisent les sels et s'ouvrent de plus en plus sous leur poussée. Des croûtes de sels parfois millimétriques ont pu être observées derrière certains fragments désolidarisés. Les analyses faites dans les années 1980 et 1990 par Bromblet et Martinet (Bromblet, Bocquier, 1985; Martinet, 1992, p. 59-60) montrent principalement la présence de sulfates (gypse, thénardite) sous la surface et de chlorures (halite) en surface. Par ailleurs, autour des ragréages au ciment on observe de nombreuses fractures et fragments : la rigidité du ciment ne permet pas d'absorber le mouvement du bâti.



Figure 5 Désagrégation du grès sous les ragréages au ciment. © CFEETK, L. Pieri.

Au niveau de l'ancien sol et surtout sous les ragréages au ciment on observe une désagrégation granulaire ou « arénisation ». Cela est dû à la cristallisation des sels dans la pierre à l'interface avec le ciment. Après retrait des ragréages en brique et mortier de ciment, on observe clairement l'altération du grès sous ces comblements imperméables et rigides (**fig. 5**). Ils forment un couvercle empêchant la circulation

de l'eau et la sortie des sels. Lorsque les joints ont été injectés de lait de ciment pur, la désagrégation peut atteindre dix à quinze centimètres de profondeur.

La plupart des altérations ont donc comme cause les remontées capillaires et la cristallisation des sels dans la pierre et sont fortement aggravées en présence de ciment.

Le traitement mis en œuvre sur ce chantier a consisté en une élimination progressive des anciens ragréages et dans la mesure du possible des joints au ciment noir, après étayage de la structure (**fig. 6**). À l'arrière, la pierre non sculptée, trop désagrégée pour être conservée, a été purgée.

Les reliefs et la surface à ragréer ont ensuite été consolidés au silicate d'éthyle, entre novembre et février, afin de bénéficier des conditions climatiques permettant la réaction du produit.

Les nouveaux ragréages et enduits devaient ensuite être réalisés avec des moellons de grès et un mortier ne provoquant pas de nouvelles altérations.



Figure 6 Porte A, élimination des anciens ragréages et ciment. © CFEETK, L. Pieri.

Formulation et diffusion des mortiers d'enduit à la chaux

L'usage en cours : des mortiers ciment-chaux

De nos jours encore, les mortiers employés sur les chantiers en cours à Karnak font entrer une part non négligeable de ciment blanc associé à la chaux locale dans leur formulation.

Ces mortiers sont formulés en proportion 1 :3, une part de liant pour trois parts de charge. La charge, du sable, constitue le squelette de l'enduit et apporte de la porosité afin de garantir l'apport d'air nécessaire à la prise et la perméabilité de l'enduit par la suite.

En revanche, comme pour les mortiers utilisés au début du siècle, le liant est toujours un mélange de chaux et de ciment : deux parts de ciment pour une part de chaux dans l'enduit de dégrossi (première couche appliquée en épaisseur pour régulariser); une part de ciment pour une part de chaux dans l'enduit de finition.

Caractéristiques recherchées pour le nouveau mortier

Afin de ne pas générer de nouvelles altérations, le nouveau mortier devait répondre aux critères suivants : résistance moindre que la pierre altérée, perméabilité à la vapeur d'eau afin de laisser sortir les sels, souplesse pour s'adapter aux mouvements du bâti. Il doit aussi répondre aux contraintes locales : mise en œuvre en climat désertique, approvisionnement et coût raisonnables, et en outre s'adapter aux habitudes de travail.

Ces caractéristiques ont parfois été difficiles à faire passer auprès des ouvriers et dirigeants qui recherchent rapidité d'exécution et dureté, notamment afin d'éviter les graffiti. Il a donc été nécessaire de dialoguer en pointant les altérations causées par les mortiers inadaptés et en argumentant : il est préférable que les graffiti soient gravés dans les enduits de restauration plutôt que sur la pierre ancienne, comme cela se produit au voisinage d'enduits ciments trop durs. On peut aussi conseiller un entretien régulier mais limité à refaire périodiquement la couche de finition colorée. Mettre en place plus de surveillance limiterait aussi les dégradations, mais les moyens font défaut.

Les liants à disposition

La résistance du grès nubien, aux alentours de 25 MPa lorsqu'il est sain (Martinet, 1992), donne un point de référence pour juger des liants disponibles. Le ciment blanc égyptien présente une résistance d'environ 50 MPa, deux fois plus élevée que celle du grès sain (Martinet, 1992). La chaux aérienne, au contraire, a une résistance moindre que celle du grès, environ 7 MPa¹ et apporte souplesse et perméabilité (École d'Avignon, 2003, p. 45). Les contraintes sont cependant une prise par carbonatation très lente et une résistance définitive atteinte au bout d'un an voire plus. Elle demande en outre un grand soin dans la mise en œuvre par rapport à la facilité relative du ciment.

Une chaux locale de mauvaise qualité

Ce n'est pas sans raison que les responsables successifs ont utilisé une quantité importante de ciment dans les mortiers : la chaux locale est de mauvaise qualité. Chaux aérienne, elle se présente en poudre grossière mêlée de blocs. Obtenue par calcination à faible température de blocs calcaires, sa cuisson est incomplète, d'où la présence de nombreux fragments d'incuits et impuretés. Ces déchets sont éliminés par un tamisage grossier (fig. 7) et représentent une perte de 15 à 20 % de matière première.

L'extinction des blocs de chaux vive est faite par aspersion des blocs grossièrement concassés, ainsi la chaux obtenue n'est que partiellement éteinte et présente encore des nodules de chaux vive qui peuvent provoquer des cratères dans les enduits en s'hydratant. Les conditions de stockage dans des sacs peu hermétiques peuvent aussi engendrer un début de prise.

1. Données pour une chaux aérienne française en poudre.



Figure 7 Tamisage de la chaux locale pour éliminer les incuits.
© CFEETK, L. Pieri.

Finalement, la teneur en oxyde de calcium est faible, ce qui réduit le pouvoir liant. Les mortiers obtenus sont très friables, peu adhérents et pulvérulents.

En outre, il est difficile d'avoir un approvisionnement suivi de chaux car le matériau est complètement tombé en désuétude. L'industrie cimentaire étant très développée en Égypte, le coût de la chaux est quasiment identique à celui du ciment, pour un rendement moindre. La chaux requiert en outre plus de temps pour la mettre en œuvre et une main-d'œuvre qualifiée. Difficile ainsi de convaincre les ouvriers et dirigeants locaux de changer leurs habitudes.

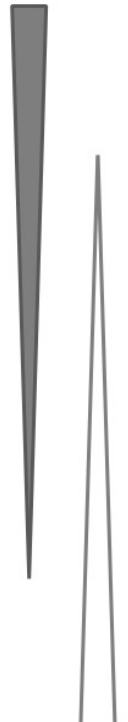
Recherches empiriques

Malgré ces difficultés, nous ne souhaitons plus utiliser de ciment sur les zones fraîchement consolidées et débarrassées des ragréages anciens. Dans un premier temps, de la chaux française importée a été utilisée, solution temporaire peu adaptée d'un point de vue écologique et économique du fait des coûts d'importation élevés.

Une prise de contact avec l'*American research center in Egypt* (ARCE), qui travaille sur un chantier adjacent au temple de Khonsou, nous a apporté une solution viable. Une production de chaux aérienne en pâte sur site y a été mise en place sous la direction du directeur John Sherman et d'Elsa Bourguignon, responsable du laboratoire.

Nous avons testé cette chaux, parallèlement à la chaux locale et à une chaux aérienne française (Saint-Astier). Des carrés de test nous ont permis de vérifier l'adhérence et la friabilité des mortiers obtenus avec ces liants et un ajout de ciment en différentes proportions (**fig. 8**). De simples tests de rayure avec un bâtonnet imitant les graffitis ont été réalisés, un mois, trois mois et six mois après la pose.

La chaux locale en poudre est effectivement très médiocre, utilisée dans les proportions 1 : 3 (une part de chaux pour trois parts de sable). La chaux aérienne française en poudre donne des résultats satisfaisants. Mais les meilleurs résultats sont atteints avec la chaux en pâte



Chaux locale poudre	Chaux en pâte ARCE	Chaux aérienne St Astier	Ciment : Chaux : Sable (Parts volumiques)	% de ciment dans le liant	% de ciment sur le total
			1:0:3	100%	25%
			2:1:3	75%	18,75%
			1:1:3	50%	12,5%
			1:2:3	25%	6,25%
			0:1:3	0%	0%

Tests de résistance de mortiers à la chaux et au ciment

1 part de liant (chaux et/ou ciment) pour 3 parts de charge (sable)

Figure 8 Tests de résistance de mortiers à la chaux et au ciment. © L. Pieri.

produite sur site : après six mois, la surface est même plus résistante à la rayure qu'un mortier de ciment pur.

Par rapport à la chaux aérienne en poudre, la chaux en pâte offre une onctuosité et une plasticité qui facilitent grandement la mise en œuvre. Sa faible demande en eau ainsi qu'une rétention d'eau importante permettent son utilisation même en cas de forte chaleur. Nous avons constaté que la surface des enduits réalisés était déjà assez résistante dès le début de la prise, le lendemain de la pose. Sa grande finesse permet de réaliser des enduits de finition.

Ces résultats encourageants nous ont permis de convaincre le CFFETK de mettre en place une unité de production de chaux en pâte sur le site. Un an a été nécessaire pour entreprendre les tests, les achats, la mise en œuvre et le trempage, avant de pouvoir finalement utiliser cette chaux (**fig. 9**). Le protocole mis en place par l'ARCE a été repris : contrôle qualité de la chaux vive lors de l'achat par des tests simples (*rapid sugar test*), extinction en bac dans une grande quantité d'eau, malaxage et retrait des incuits, trempage de plusieurs mois (3 à 4 mois minimum), tamisage fin avant utilisation.

Amélioration de la chaux locale

En attendant de disposer de cette chaux en pâte de qualité, nous avons parallèlement tenté d'améliorer la chaux locale disponible, sur le modèle *tadelakt* marocain. La chaux marocaine



Figure 9 Fabrication de chaux en pâte sur site, malaxage. © CFEETK, L. Pieri.

artisanale est fabriquée à peu près de la même façon que la chaux égyptienne. Elle est ensuite remise à tremper de quelques jours à quinze jours afin de terminer l’extinction avant de l’utiliser. Elle est enfin mélangée avec une faible proportion de sable, voire pas de sable du tout, car elle contient intrinsèquement une part de charge du fait des impuretés et incuits restants (École d’Avignon, 2003).

De la même façon, la chaux locale a été trempée à nouveau puis utilisée en proportions 1 :2 et non 1 :3, en considérant qu’impuretés et incuits constituent une charge intrinsèque. On obtient ainsi un mortier grossier mais assez résistant, parfaitement adapté pour les enduits de dégrossi.

Conclusion

Il a été possible d’arrêter l’emploi de ciment au CFEETK et de mettre au point une nouvelle méthodologie de ragréage, avec des mortiers à base de chaux locale. Deux ans se sont écoulés entre les premiers tests et l’achèvement des travaux sur le temple de Ptah (**fig. 10**). S’agissant d’un chantier commencé plusieurs années auparavant, seulement une partie des enduits a pu être réalisée à la chaux. Retrempée en proportions 1:2, la chaux locale a été employée pour les enduits de dégrossi. La chaux en pâte très fine produite *in situ* est idéale en enduit de finition. Les ouvriers sont convaincus, les dirigeants égyptiens le sont en partie. Des résistances subsistent en raison du travail de préparation du matériau supplémentaire et des habitudes de travail avec le ciment. Les chantiers en cours au CFEETK continuent d’utiliser la méthodologie mise en place, avec un roulement de production de chaux continu.



Figure 10 Porte A après réalisation des enduits de finition. © CFEETK, L. Pieri.

Références bibliographiques

Azim M., Réveillac G. (2004), *Karnak dans l'objectif de Georges Legrain. Catalogue raisonné des archives photographiques du premier directeur des travaux de Karnak de 1895 à 1917*, Paris.

Bromblet P., Bocquier G. (1985), *Données pétrologiques concernant l'altération des grès des temples de Karnak (Égypte)*, rapport, CFEETK.

École d'Avignon (2003), *Techniques et pratique de la chaux*, Paris, Eyrolles, p. 118-119.

Martinet G. (1992), *Grès et mortiers du temple d'Amon à Karnak (Haute-Égypte) : étude des altérations, aide à la restauration*, Paris, Laboratoire central des ponts et chaussées, p. 51, 59-60, 104.

Larché F., Lefur D., *La restauration de la cour de Thoutmosis IV*, article non publié, communiqué par l'auteur.

Lefur D. (1994), *La conservation des peintures murales des temples de Karnak*, Paris, ERC.

Traunecker C. (1972), « Aperçu sur les dégradations des grès dans les temples de Karnak », *Cahiers de Karnak*, n° 5, p. 119-130.

L'auteur

Lucie Pieri conservatrice-restauratrice de sculptures,
lucie.pieri@gmail.com.

RÉPONSE COLLABORATIVE À LA CONSERVATION DE POTERIES PRÉHISTORIQUES ARCTIQUES : DÉFIS ET PREMIERS RÉSULTATS

JULIE MASSON-MACLEAN, ANA JORGE, RICK KNECHT

Résumé Les fouilles archéologiques du site préhistorique de Nunalleq ont livré une grande quantité de tessons de céramiques poreuses, cuites à basse température. En raison des conditions d'enfouissement dans un pergélisol discontinu et des caractéristiques technologiques de la poterie, ces tessons posaient des problèmes de conservation après leur mise au jour et lors de leur étude. La collaboration entre une céramologue et une restauratrice a permis d'améliorer les interventions sur le terrain et d'implémenter un séchage lent, afin de préserver au mieux une céramique rare et peu connue. Des spécimens fragiles ont aussi pu être restaurés afin d'apporter des informations qui, autrement, auraient été difficilement accessibles à l'étude céramologique.

La céramique préhistorique d'Alaska est relativement mal connue. Nunalleq (**fig. 1**), un site d'habitat de la côte sud-ouest de l'Alaska, abandonné brusquement et brûlé, a livré une des plus grandes collections d'artefacts de la culture Yup'ik pour la période précédant le contact entre Européens et Esquimaux. Plusieurs types de formes et de décors ont déjà été identifiés (**fig. 2**).



Figure 1 Le site archéologique de Nunalleq. © University of Aberdeen, department of Archaeology.

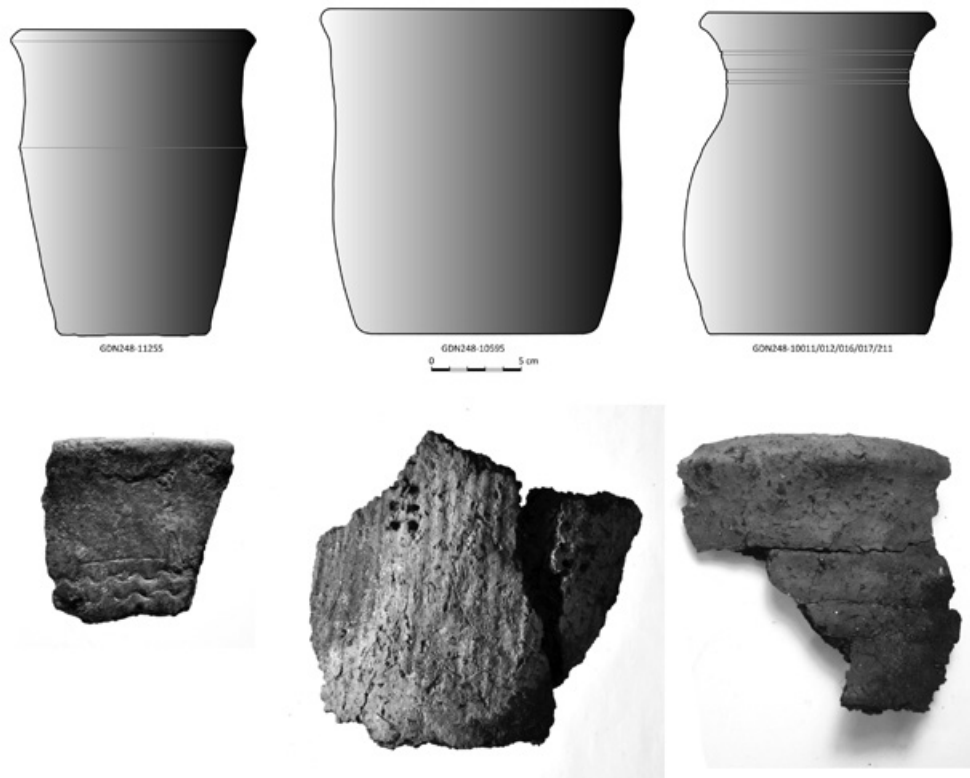


Figure 2 Exemples de formes et de décors des céramiques de Nunalleq (photographies : W. Richie; dessins : A. Jorge). © A. Jorge.

Ce site a été trouvé par les villageois quand des objets sont apparus sur la plage; ils ont demandé à Rick Knecht de les aider à sauver ce qu'ils reconnaissent être leur patrimoine collectif. Fouillé par l'université d'Aberdeen dans le cadre d'un chantier-école, le site a livré un matériel archéologique remarquable et bien préservé dans son ensemble. Le contexte d'enfouissement se caractérise par un pergélisol discontinu et une couverture végétale de type toundra humide. Le climat y est froid, avec des cycles de gel/dégel et des changements de météo abrupts. Les fouilles ont lieu en juillet et août, mois pour lesquels on a enregistré des températures supérieures à 20 °C plus fréquentes et des précipitations plus abondantes ces dernières années. Tout le matériel archéologique est retrouvé humide, parfois gelé, et il peut faire l'objet d'un séchage brutal. Les conditions de travail peuvent être difficiles, bien que les structures s'améliorent chaque année. Il s'agit d'une fouille de sauvetage et, depuis le début du projet en 2009, l'érosion côtière a détruit environ 50 m² de la fouille (**fig. 3**). Cette situation impose des conséquences importantes pour la façon dont le travail archéologique est conduit, parce qu'il doit combiner des objectifs de recherche avec un sauvetage d'urgence. De plus, le site se trouvant sur les terres de la corporation Qanirtuuq, celle-ci et le village de Quinhagak sont intégralement propriétaires des artefacts et tout le mobilier doit être stabilisé, étudié et rapatrié pour janvier 2018.

La céramique fait l'objet d'une étude céramologique classique et d'une étude analytique qui s'intéressent aux traditions technologiques et aux savoir-faire des communautés préhistoriques (origine de la glaise et des inclusions clastiques, identification des inclusions végétales, estimation des températures de cuisson). Caractérisée par l'emploi d'une glaise dégraissée avec de gros cailloux dont la taille peut avoisiner le centimètre et de larges inclusions végétales (**fig. 4**), la céramique était façonnée par battage. Du gras d'origine animale (aquatique)



Figure 3 Érosion côtière entraînant la disparition du site, visible au centre de la photographie. © University of Aberdeen, Department of Archaeology.

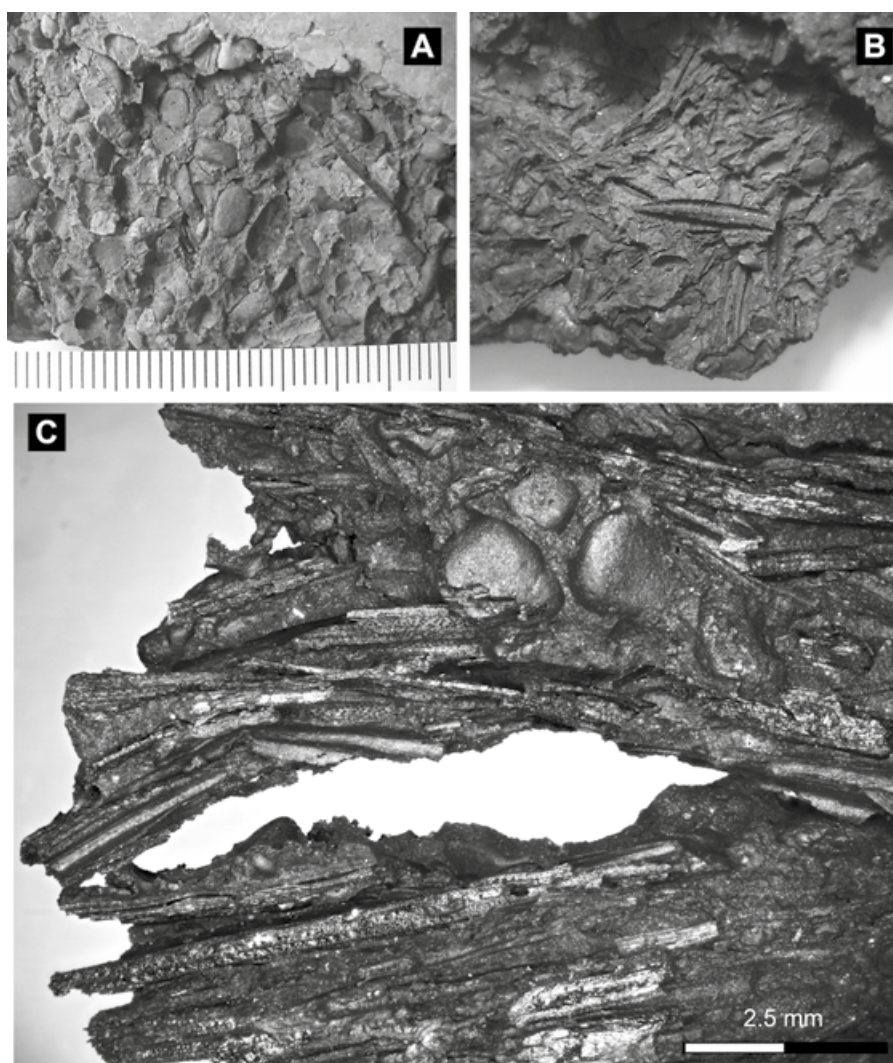


Figure 4 Cailloux (A) et inclusions végétales conservées sous forme d'impressions (B) et de restes organiques (C) (photographie à profondeur de champ améliorée). © A. Jorge.

était ajouté à la pâte ou appliqué sur la surface du pot après manufacture, probablement pour étanchéifier la pâte, bien qu'il puisse aussi s'agir de résidus de cuisine (Farrell *et al.*, 2014). La cuisson des céramiques se faisait à basses températures, d'environ 500 °C – 850 °C selon les données préliminaires, produisant un matériel avec une structure poreuse, à faible cohésion et très fragile. Les céramiques souffrent d'altérations liées au contexte d'enfouissement : réseau de fissures et fragmentation importante, délitement en feuillets lamellaires de la pâte dans son épaisseur, effritement des tranches des tessons ainsi que desquamation de leur surface (fig. 5). Elles sont sensibles à l'eau qui provoque leur désolidarisation, facilitée par la taille importante des inclusions, les vides laissés par les inclusions végétales brûlées ainsi que les vides planaires laissés par le mode de fabrication et observés sur micrographie de lame mince (fig. 6).

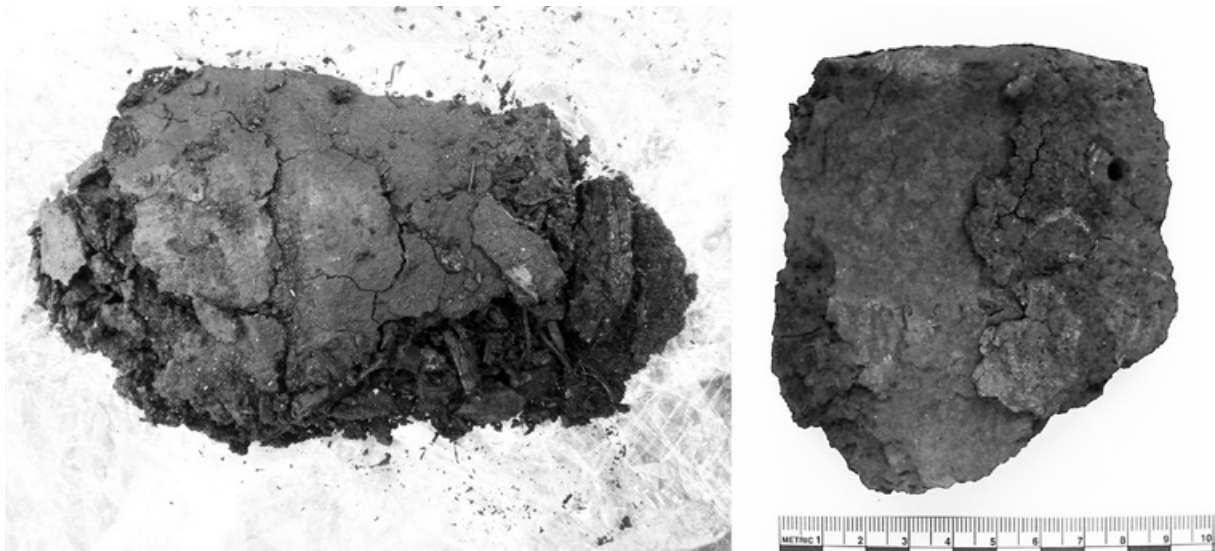


Figure 5 Tessons montrant les altérations typiques au site de Nunalleq. © J. Masson-MacLean.

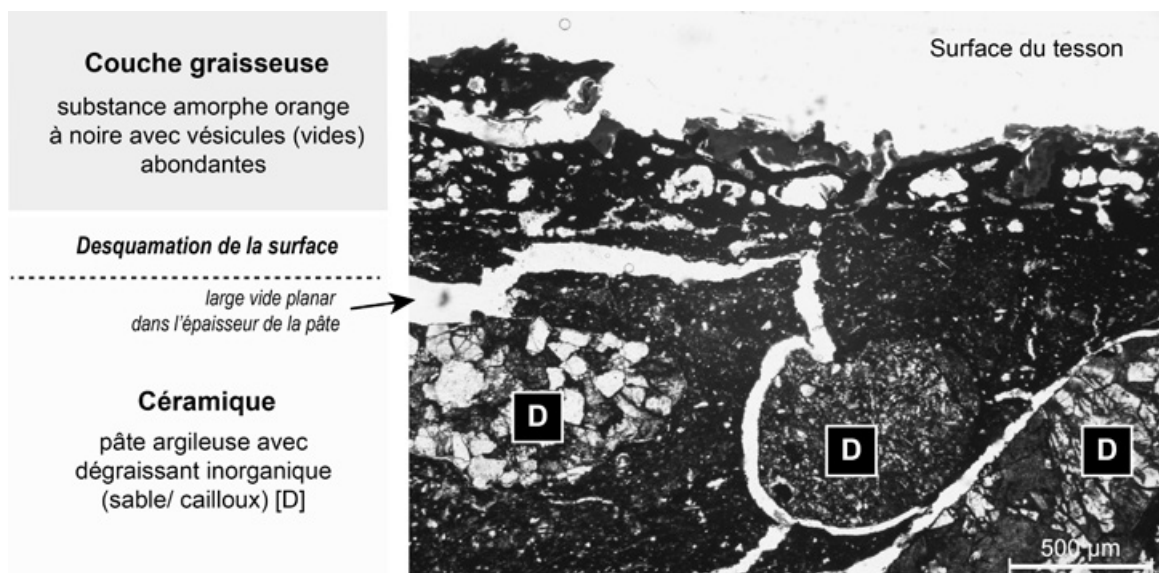


Figure 6 Micrographie de lame mince. © A. Jorge.

Ces caractéristiques et les conditions de recherche posent plusieurs défis à l'étude et au traitement de cette céramique, comme nous allons maintenant le voir. Nous présenterons ensuite les mesures qui ont été établies afin de répondre à ces défis.

Les défis

Défi 1 : le terrain

Dans un chantier-école en partenariat avec la communauté locale, les étudiants et les volontaires sont fortement impliqués dans les étapes de fouille. Il n'est pas toujours facile de faire la différence entre les tessons et le milieu d'enfouissement (**fig. 7**). La surface des tessons peut être éraflée, leur tranche endommagée. Leur prélèvement est aussi délicat : quand les tessons sont humides, leur ramassage de surface peut engendrer une fragmentation en raison de leur fragilité, alors qu'une exposition au soleil et au vent par une journée chaude et sèche peut induire un séchage brutal et provoquer la fragmentation des tessons jusqu'à désagrégation.



Figure 7 Difficulté d'identification et de fouille des tessons. © A. Jorge.

Défi 2 : la logistique et le stockage

La gestion du matériel après sa mise au jour, incluant le stockage et le transport, est aussi compliquée. Les objets sont préparés puis transportés par quad (**fig. 8**) de la fouille jusqu'au village, où ils sont stockés temporairement dans un bâtiment en tôle parfois surchauffé par le soleil. Les objets voyagent ensuite par petit avion, puis par avion commercial/cargo et, finalement, par fret aérien jusqu'au Royaume-Uni où ils sont acheminés par camion jusqu'à l'université d'Aberdeen. Cela signifie de longues périodes dans des containers scellés et des manipulations fréquentes avec des conséquences importantes pour la préservation des objets. La moitié des tessons étant humides lors de leur mise en container, il y a besoin d'une stabilisation dans les délais les plus courts à leur arrivée.



Figure 8 Objets placés dans une glacière et transportés par quad.
© University of Aberdeen, Department of Archaeology.

Défi 3 : la conservation

Le troisième défi est donc celui de leur conservation. Conserver l'authenticité du matériau et permettre l'accès direct, immédiat, au potentiel informatif de ces céramiques (dont leur forme) requiert parfois des approches contradictoires : pour les analyses scientifiques, des tessons sont donc réservés dès la fouille. Par ailleurs, il n'y a pas de gestionnaire des collections attaché au projet.

Il faut ici signaler la valeur toute particulière de ces céramiques pour la communauté Yup'ik – qui est à l'origine de ce projet – car contrairement à d'autres savoir-faire traditionnels, comme la sculpture sur ivoire et la vannerie, la fabrication de poterie est aujourd'hui un savoir-faire disparu.

Les mesures établies

L'arrivée d'une céramologue en 2014 puis d'une restauratrice fin 2015 permet alors de développer une approche collégiale pour répondre à ces défis. C'est un travail en cours, qui vise à trouver des solutions simples à mettre en œuvre, efficaces et réalistes quant aux ressources disponibles. Le travail effectué par la restauratrice à Aberdeen a informé sur les mesures à mettre en place sur le terrain et encadrées par la céramologue.

La conservation-restauration des céramiques à Aberdeen

La poterie n'étant pas normalement prioritaire pour la conservation, la restauratrice ne travaille que sur une petite sélection de vaisselles remarquables (complètes ou partiellement complètes pour restauration). Au regard des caractéristiques de la céramique, le prélèvement en motte et l'établissement d'un séchage lent pour l'ensemble des tessons fut donc demandé. Ainsi, le pot de la figure 9 a été prélevé en motte et stocké cinq semaines à

Quinhagak. La motte a été reconditionnée en deux moitiés pour son transport en container, puis traitée à son arrivée à Aberdeen 6 mois après. Elle était humide, et des moisissures se développaient sur la moitié enveloppée dans plusieurs couches de film alimentaire (l'autre étant placée sous une cloche de cantine couverte d'une barquette d'aluminium). Des tessons montraient des fissures, parfois pénétrées de radicelles; certains portaient un résidu de surface. On a utilisé le protocole de séchage lent *Diatret crbc* tel que présenté par Pascale Le Roy-Lafaurie et Anaïs Vigneron (Vigneron, 2009), à savoir un système de petites boîtes placées dans une grande boîte dont on abaisse graduellement l'humidité par échange d'air suite à l'ouverture progressive des couvercles des boîtes. Les tessons ont été nettoyés à sec en libérant du sédiment tout au long du traitement. Après séchage, les tessons sont cohérents et le réseau de fissures n'a pas évolué; le dépôt de surface est bien préservé et aucune consolidation n'a été faite (fig. 9). L'importance du prélèvement en motte et d'un séchage lent pour la céramique de Nunalleq a ainsi été démontrée, et cet exemple a été utilisé pour la sensibilisation des étudiants.

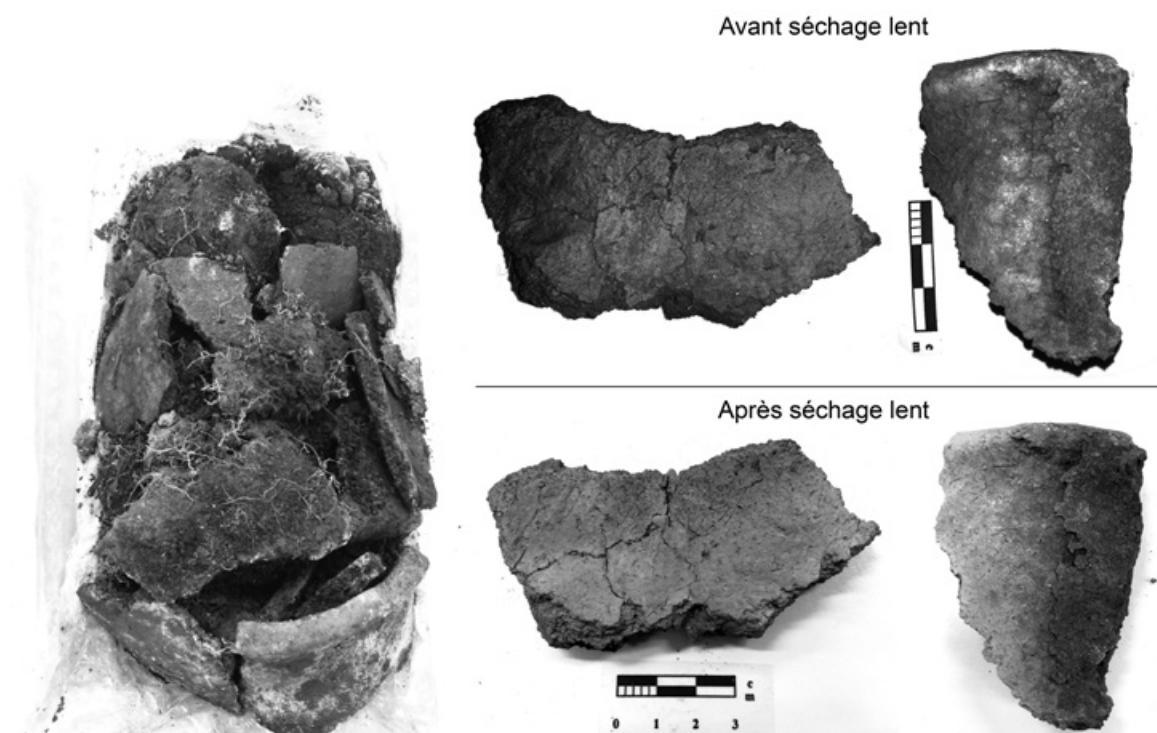


Figure 9 La motte à son arrivée au laboratoire (une des deux moitiés) et des tessons avant et après séchage lent. © J. Masson-MacLean.

Mais, bien qu'effectif, il n'était pas envisageable d'appliquer ce protocole tel quel, étant donné la manutention et la place requises et au regard des conditions de travail. Nous en avons retenu le principe et simplifié la mise en œuvre : dans de grandes boîtes étanches on a empilé des petites boîtes idéalement perméables ou étanches avec un couvercle volontairement mal clippé. L'humidité de la grande boîte étant abaissée d'environ 10 % par semaine (fig. 10), les petites boîtes se mettent progressivement à l'équilibre avec elle. Cela permet de limiter la manutention et de sécher les tessons dans une salle non climatisée qui accueille le nettoyage des artefacts lors des travaux pratiques des étudiants.



Figure 10 Aération de la grande boîte pour en abaisser l'humidité.
© J. Masson-MacLean.

Les bonnes pratiques mises en place sur le terrain

D'abord, les participants suivent à leur arrivée sur la fouille une présentation des caractéristiques et des problématiques de cette céramique. On leur montre à quoi ressemblent les tessons en tant que tels, dans le sol, et les procédures à suivre pour la fouille et le conditionnement. Cela a permis d'introduire un comportement plus attentif à l'égard de la céramique, résultant en une nette amélioration de sa manipulation et de l'habileté des participants à détecter les tessons, un meilleur taux de ramassage ainsi que moins de dommages. Une plus grande attention a été accordée à les garder humides *in situ* (en les couvrant avec des sacs en plastique épinglés lâchement (**fig. 7**) ou des boîtes, et en vaporisant leur surface avec de l'eau). Ensuite, si on a recommandé le recours aux prélèvements en motte afin de limiter les stress post-fouille, il s'est avéré difficile de faire des prélèvements en raison de la densité des artefacts et des écofacts dans le milieu d'enfouissement. Le poids et le volume occupés par les prélèvements étant une seconde limite, seuls les pots exceptionnels (profil archéologique complet, décor ou éléments notables) ont été prélevés en motte. De fait, les tessons sont souvent dispersés.

Par ailleurs, au début du projet les tessons sortis de fouille étaient emballés dans de l'aluminium comme les matériaux organiques envoyés aux archéo-biologistes pour datation ou analyse (**fig. 11**) ; ils étaient ensuite mis en sacs hermétiques et placés dans des glacières parmi les restes fauniques et le lithique. Deux problèmes sont apparus : l'écrasement des tessons humides, lors de leur emballage puis sous le poids des sacs dans les glacières, d'une part et, d'autre part, la présence de dépôts d'aluminium et d'éraflures à la surface des tessons ayant séché. L'année suivante, du film alimentaire a été utilisé pour éviter ces problèmes, mais il a favorisé le développement de moisissures. On a proposé de placer les fragments en petit nombre ou individuellement dans des sacs de polyéthylène mis à plat dans des boîtes en plastique, avec un matelassage de film bulle intermédiaire (pour le transport en quad). Pour l'envoi à Aberdeen, les sachets ont été perforés pour éviter la formation de gouttelettes d'eau



Figure 11 Tessons emballés dans de l'aluminium. © University of Aberdeen, department of Archaeology.

et on a rajouté de la mousse Ethafoam® dans les sacs pour procurer un support aux tessons et absorber les vibrations.

En outre, un séchage lent a été adapté à Quinhagak (**fig. 12**). On a utilisé des petites boîtes dont les couvercles ont été légèrement entrebâillés, qu'on a placées dans une chambre froide communautaire désaffectée dont les portes ont été entrouvertes la nuit et fermées pendant la journée. Les couvercles des boîtes ont été retirés après quelques jours. La chambre froide a procuré un environnement moins chaud et plus stable que les locaux de travail et les tessons ont bien séché.

Enfin, une partie des tessons est maintenant nettoyée à Quinhagak en suivant les procédures mises en œuvre à Aberdeen, afin de gagner du temps sur la post-fouille et de limiter le problème du développement de moisissures. Si le nettoyage est considéré comme une étape à part entière de l'étude céramologique et du catalogage, les caractéristiques des céramiques discutées indiquent d'être prudent. On a adopté une approche pragmatique, favorisant un nettoyage à sec effectué conjointement au séchage. Sur le terrain et lors des travaux pratiques des étudiants à l'université, la céramologue a encadré un nettoyage à sec des tessons secs et à l'eau déminéralisée des céramiques humides présentant une apparition de moisissures – l'isopropanol étant seulement utilisé par la restauratrice.

Les premiers résultats et le futur

Globalement, les premiers résultats sont encourageants et montrent que, si le travail de conservation-restauration entrepris à Aberdeen a fait prendre conscience de la nécessité de mettre en place des mesures spécifiques favorisant une meilleure conservation de ces céramiques, la présence de la céramologue sur le chantier a permis de sensibiliser les participants aux problématiques posées par cette céramique.



Figure 12 Séchage lent à Quinhagak. © A. Jorge.

Notre but commun a donc été :

- de sensibiliser et former les fouilleurs aux difficultés rencontrées, d'améliorer les méthodes de fouille et de limiter les stress post-fouille. On a introduit le prélèvement en motte et adapté le conditionnement et le stockage des tessons sur le terrain;
- de mettre en place un séchage lent.

Cela a aussi permis d'effectuer les premiers secours (la consolidation des tessons ayant subi un séchage non contrôlé lors des années précédentes) et d'assurer la restauration de pièces remarquables (**fig. 13**).

Pour le futur, la mise en place du séchage lent comme séchage de routine permettra au projet de se désengorger du temps pris auparavant par la consolidation des tessons. Comparer la cohésion retenue par les tessons séchés sur site avec celle des tessons séchés en laboratoire permettra d'ajuster au mieux la pratique du séchage lent sur le terrain et de mettre en exergue les besoins indispensables à la bonne conservation des céramiques.



Figure 13 Pot après restauration. © J. Masson-MacLean - University of Aberdeen, department of Archaeology.

Conclusion

Un protocole de fouille et de traitement des céramiques du site Nunalleq est donc en train d'être mis en place à l'université d'Aberdeen pour s'adapter à leur nature et leur état de conservation tout particuliers. Le développement de solutions conservatoires *low-tech* est aussi crucial pour nos partenaires locaux, la communauté Yup'ik qui s'implique dans la sauvegarde active de son patrimoine et d'un nombre croissant d'artefacts exposés à l'érosion côtière. Nous tentons de concilier la réalité d'une fouille en Alaska avec les prérogatives d'une étude scientifique et les besoins conservatoires du matériel mis au jour. Travailler en collaboration permet d'optimiser les pratiques et de répondre pragmatiquement à des défis spécifiques en vue de préserver au mieux les céramiques préhistoriques de Nunalleq, qui sont les derniers témoins d'un savoir-faire disparu.

Remerciements

Nous remercions le village de Quinhagak, Qanirtuuq Inc. et AHRC, ainsi que Walter Richie pour son aide pour la photographie des artefacts.

Références bibliographiques

Farrell T., Jordan P., Taché K., Lucquin A., Gibbs K., Jorge A., Britton K., Craig O., Knecht R. (2014), « Specialized processing of aquatic resources in prehistoric Alaska pottery? A lipid-residue analysis of ceramic sherds from the Thule-period site of Nunalleq, Alaska », *Arctic Anthropology*, vol. 51, n° 1, p. 86-100.

Vigneron A. (2009), « Les céramiques à faible cohésion : proposition d'une méthode de séchage et réflexions sur un traitement », *Conservation restauration des biens culturels*, n° 27, p. 25-33.

Les auteurs

Julie Masson-MacLean* conservateur-restaurateur d'objets archéologiques, massonmacleanjulie@yahoo.fr

Ana Jorge chercheur postdoctoral (céramologue)

Rick Knecht senior lecturer en archéologie

Department of Archaeology, school of Geosciences,
university of Aberdeen, St. Mary's Building, Elphinstone
Road, Aberdeen, AB24 3UF, UK

* Auteur auquel doit être adressée la correspondance.

CONSERVATION-RESTAURATION D'UN ENSEMBLE ARCHÉOLOGIQUE PRÉLEVÉ EN MOTTE : UNE SÉPULTURE D'ENFANT DU HAUT MOYEN ÂGE (VII^e SIÈCLE, LANGENPREISING, BAVIÈRE)

HÉLÈNE HUYSSEUNE

Résumé Nous présentons ici l'étude d'une sépulture d'enfant du Haut Moyen Âge, dont l'état de conservation jugé relativement exceptionnel a justifié le choix d'un prélèvement en motte. Cet ensemble se composait d'un squelette, d'un mobilier funéraire constitué d'un œuf et de plusieurs objets métalliques avec des restes organiques minéralisés. La sépulture – dénommée « sépulture 20 » – ainsi prélevée a fait l'objet d'une micro-fouille en laboratoire dans le cadre d'une intervention de conservation-restauration, effectuée au sein des laboratoires du *Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege* (BLfD, Munich), du 15 septembre 2014 au 6 mars 2015. Cette intervention, basée sur les principes de l'« *investigative conservation* », a permis l'étude de chacun des éléments en présence, ainsi que l'identification et l'analyse des restes organiques minéralisés au contact des objets métalliques, ceci pour appréhender cette sépulture dans son ensemble et ainsi aboutir à une reconstitution, et mieux comprendre les pratiques funéraires envers des jeunes enfants à cette période.

Contexte archéologique de la sépulture 20 de Langenpreising

Des fouilles préventives, effectuées en juin 2014 sur la commune de Langenpreising en Bavière, ont permis de révéler un tumulus avec chambre funéraire centrale (celle d'un homme d'âge mûr), dont le mobilier devait être relativement riche étant donnée la qualité des quelques éléments qui nous sont parvenus malgré un pillage ancien. À proximité immédiate se trouvait une seconde chambre funéraire, plus tardive, appartenant à un enfant de deux à quatre ans, assez perturbée (sépulture 100). À une quarantaine de mètres a été mis au jour un groupe isolé de six tombes, dont la sépulture 20, et trois autres correspondant à celles d'enfants de deux à six ans. Cette nécropole est datée du Haut Moyen Âge, plus précisément de la fin du VII^e siècle au début du VIII^e siècle (Haberstroh, 2015).

Dans les nécropoles du Haut Moyen Âge de l'ère mérovingienne de l'est de la France et du sud-ouest de l'Allemagne, régions héritières des traditions germaniques, les jeunes enfants sont largement sous-représentés. De plus, le mobilier de ces tombes est relativement rare et les squelettes ont généralement disparu en raison de la fragilité des os. La présence de cinq enfants parmi les huit sépultures mises au jour à Langenpreising est donc particulièrement intéressante, d'autant plus que les sépultures 100 et 20 présentent un mobilier funéraire dans la tradition germanique, à une période où ces pratiques sont abandonnées pour

laisser place aux traditions chrétiennes. L'intérêt de ces deux sépultures est accentué par le contraste qu'elles présentent par rapport aux autres sépultures du site de Langenpreising et aux sépultures d'enfant contemporaines.

Le choix du prélèvement en motte

À l'inverse des deux sépultures qui l'encadraient, dépourvues de mobilier, la sépulture 20 ne présentait aucun signe de perturbation liée à des facteurs extérieurs à la taphonomie de la tombe elle-même. Les objets se concentraient tous sur le squelette, à l'exception d'un fer de lance, placé légèrement à l'écart sur la gauche du crâne. Un scramasaxe reposait sur le bras gauche, un objet indéterminé (l'« objet n° 4 ») à sa droite (sur les côtes) et des éléments de garniture de ceinture en alliage ferreux étaient placés du côté droit du thorax (**fig. 1, 2 et 3**).

Cet excellent état de conservation apparent, aussi bien du squelette, des objets, que de la taphonomie de la sépulture, a conduit à la décision conjointe des archéologues et des conservateurs-restaurateurs du *Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege* (BLfD, Munich) de la prélever dans son ensemble. La priorité a été donnée à la conservation des connexions, sachant que chacun des éléments de cet ensemble ne prend son sens que dans une étude globale, et à la préservation des traces de matériaux organiques éventuellement conservés.

Les parois de la motte ne correspondent pas exactement à celles de la fosse de la sépulture : les limites de la motte ont été restreintes au maximum, pour en réduire les dimensions (95 × 33 × 30 cm) autant que possible, et ainsi en faciliter la manipulation. Le fer de lance a été prélevé séparément. Un coffrage a ensuite été fabriqué par l'équipe de restaurateurs du BLfD en attendant de pouvoir traiter la motte.

Méthodologie de l'intervention de conservation-restauration : *investigative conservation* et recherche des informations disponibles

Les principes de l'*investigative conservation*

L'*investigative conservation*, concept appliqué à la conservation-restauration en archéologie, a été défini par l'*English Heritage* au début des années 1990, et adopté au BLfD depuis le début des années 2000. Il désigne une des cinq catégories principales d'intervention de conservation-restauration, qui peuvent être regroupées ainsi :

- « premiers secours » (*first aid conservation*) : ensemble des mesures temporaires prises dès la découverte de l'objet, de son prélèvement du milieu d'enfouissement jusqu'au traitement;
- conservation préventive;
- *investigative conservation* : étude et analyse par des mesures non destructives et limitées;
- conservation curative;
- restauration (*display conservation*) : mise en valeur de l'objet.

L'expression « *investigative conservation* » désigne l'élaboration d'une méthode qui permet de concilier une étude précise des objets archéologiques, tout en interférant aussi peu que possible avec leur matière. Elle rend compte du principal objectif fixé : l'enquête (*investigation*) menée sur les objets traités, afin d'en extraire toutes les informations disponibles.

Le principe d'intervention minimale est englobé dans ce concept, puisque selon la méthodologie proposée, seule une partie des objets devrait être dégagée, afin de conserver si possible



Figure 1 Photographie de la sépulture 20 lors du constat d'état. © H. Huyseune.



Figure 2 Motte en cours de fouille, après prélèvement d'une partie du squelette : les deux ensembles formés par le scramasaxe et la garniture de ceinture. © H. Huyseune.

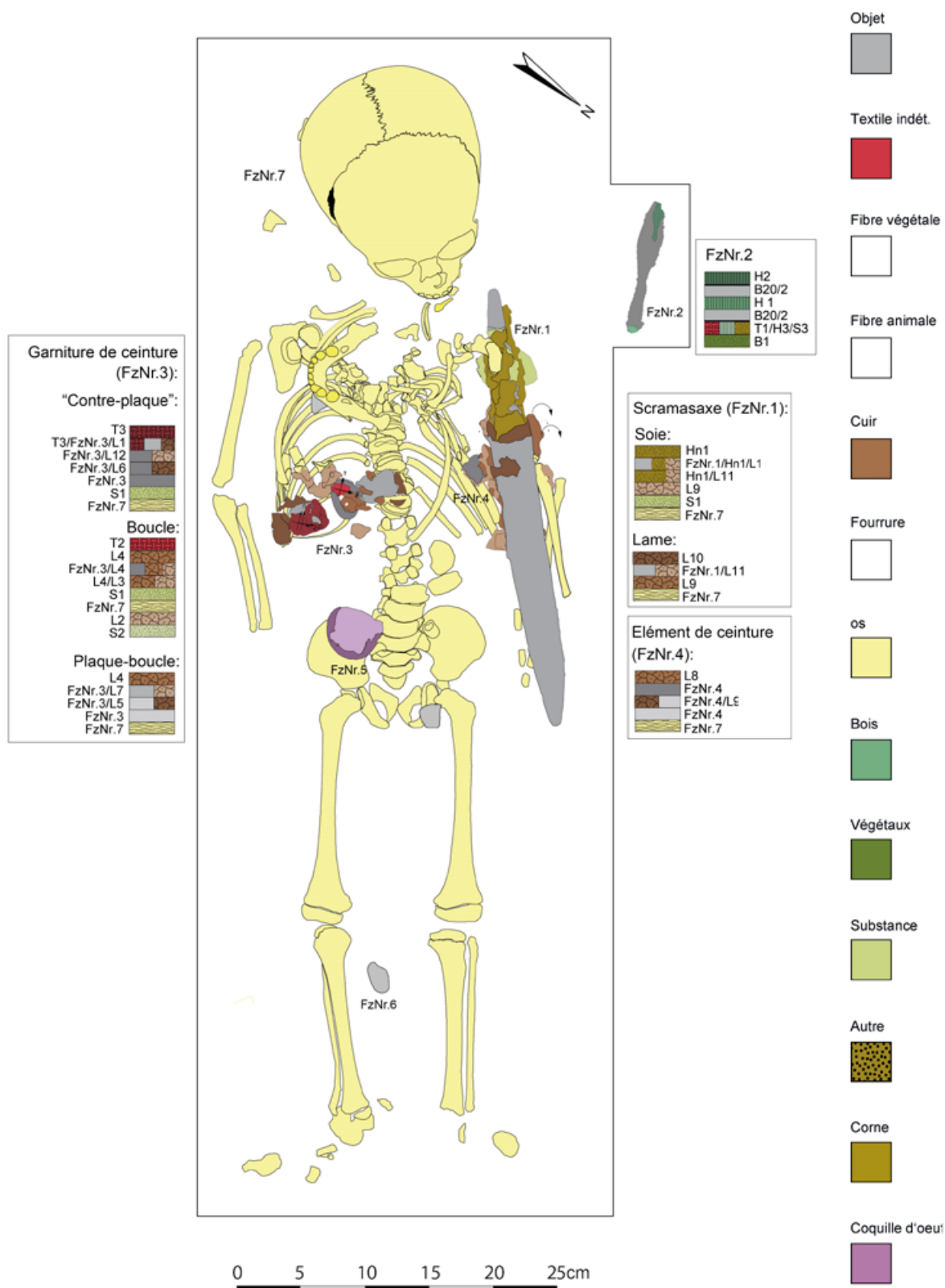


Figure 3 Cartographie et micro-stratigraphies des restes organiques de l'ensemble de la sépulture 20.
© H. Huyseune.

une partie intacte, préservée de tout traitement de conservation-restauration, à moins que l'état de l'objet n'exige un traitement curatif. Les parties non traitées peuvent être conservées en l'état, pour d'éventuelles interventions ou analyses futures. L'application de cette méthode suppose une étroite collaboration avec des spécialistes pour l'étude technologique des objets, estimer le potentiel de recherches et définir les problématiques archéologiques, pour déterminer la pertinence du dégagement d'un objet en partie(s) ou en tout, si les recherches en amont n'apportent pas les réponses recherchées. Cette méthode est essentiellement appliquée aux petits objets métalliques dont le potentiel informatif peut être important, en particulier ceux en contexte funéraire.

En suivant la méthodologie découlant du concept d'*investigative conservation*, les produits de corrosion des objets métalliques sont dégagés et l'on effectue une intervention de restauration uniquement dans le cas où les informations archéologiques recherchées ne sont pas accessibles par un examen non invasif, comme la radiographie X. Il pourra s'agir d'un simple dégagement partiel sous loupe binoculaire, consistant alors en une action mécanique locale à des endroits stratégiques pour recueillir les informations recherchées (Gasteiger, 2013).

La conséquence directe de l'application de cette méthode est la modification de la perception des objets : il est possible de dégager ponctuellement des fenêtres sur les ferreux, ce qui implique que la forme complète des objets n'est pas immédiatement perceptible sans une documentation complémentaire (radiographie X, dessins, analogies, reconstitutions...).

Micro-fouille de la motte

L'enjeu du traitement de la sépulture 20 était donc la recherche des informations archéologiques disponibles. Pour la mise en œuvre de cette micro-fouille, étant donnée la présence de restes organiques minéralisés, a été appliquée la méthodologie proposée par le BLfD et C. Proust (Proust, 2009), construite en trois temps :

- la préparation des surfaces d'observation, primordiale pour comprendre l'organisation des couches organiques minéralisées à la surface des objets en métal, puisque les couches de sédiment et de corrosion superficielle empêchent l'observation sur la totalité des matériaux organiques. Cette micro-fouille est réalisée mécaniquement, sous loupe binoculaire;
- la documentation des informations archéologiques contenues dans les restes organiques (descriptions et représentations graphiques), chaque reste organique identifié étant enregistré comme une unité stratigraphique. Cette documentation doit préciser la localisation des restes, les micro-stratigraphies (établies à l'aide de micro-sondages), et la description des couches selon des critères précis, après observation sous binoculaire;
- l'exploitation des données, avec la mise en relation du relevé stratigraphique et du dessin.

Ainsi, à chaque étape significative du dégagement du sédiment ont été réalisés : des radiographies X (fig. 4), des relevés photographiques et graphiques; des relevés par DAO, ou cartographie des restes organiques sur Photoshop®, d'après le modèle élaboré par les restaurateurs du BLfD : relevés de l'ensemble de la sépulture (fig. 3) comme pour chacun des objets métalliques (fig. 5 et 6), des micro-stratigraphies (fig. 5, 6 et 3), un relevé altimétrique des ossements en vue de l'analyse taphonomique.

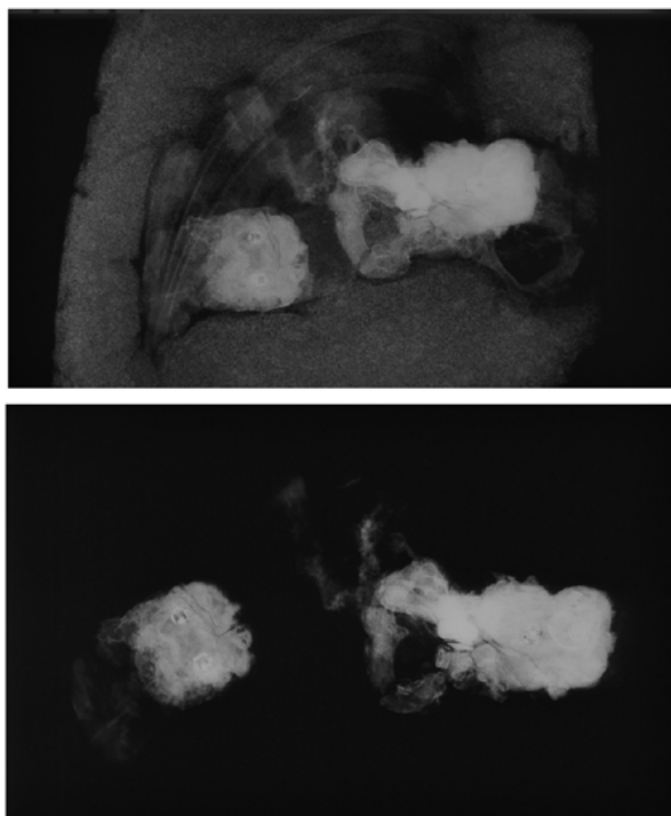


Figure 4 Radiographies X de la plaque-boucle et de la contre-plaque à différentes étapes de l'intervention. © H. Huysseune.

Les objectifs de l'intervention en laboratoire ont été définis pour chacun des éléments composant la sépulture en fonction des problématiques qu'ils représentaient et du domaine d'expertise dont ils relevaient. Conserver un point de vue sur l'ensemble de la sépulture (ou de la motte) était indispensable pour sa compréhension globale, mais l'objectif était *in fine* le prélèvement de chacun des éléments. Le squelette a été prélevé au fur et à mesure du dégagement du sédiment, puis transmis à l'anthropologue chargé de son étude biologique. L'œuf, ponctuellement consolidé, a été prélevé de la même manière, et simplement conditionné.

Au cours du dégagement du sédiment et du prélèvement du squelette, la motte a été réduite en deux ensembles restreints (**fig. 2**), à la stratigraphie plus complexe : le scramasaxe et l'objet n° 4 au contact des ossements du bras et de la main gauches et d'une côte; la garniture de ceinture au contact des dernières côtes droites et vertèbres. Les deux ensembles isolés ont à leur tour été traités comme des prélèvements en motte. Après la fouille et documentation des avers, une fois protégés par une chape, il a été possible de les retourner pour dégager le sédiment et prélever les os restants à partir du revers. Les micro-stratigraphies et la compréhension des objets ont pu être ainsi affinées. L'objet n° 4 a pu être caractérisé comme un élément de la garniture de ceinture, de dimensions et de forme similaires à celles de la contre-plaque (**fig. 7 et 5**). Le dégagement ponctuel des produits de corrosion a été nécessaire pour mettre en évidence des rainures sur une des faces de la lame du scramasaxe, peu visibles sur la radiographie, comme les décors sur l'objet n° 4 et la plaque-boucle. Les restes organiques minéralisés ont été laissés en place sur les objets autant que possible.

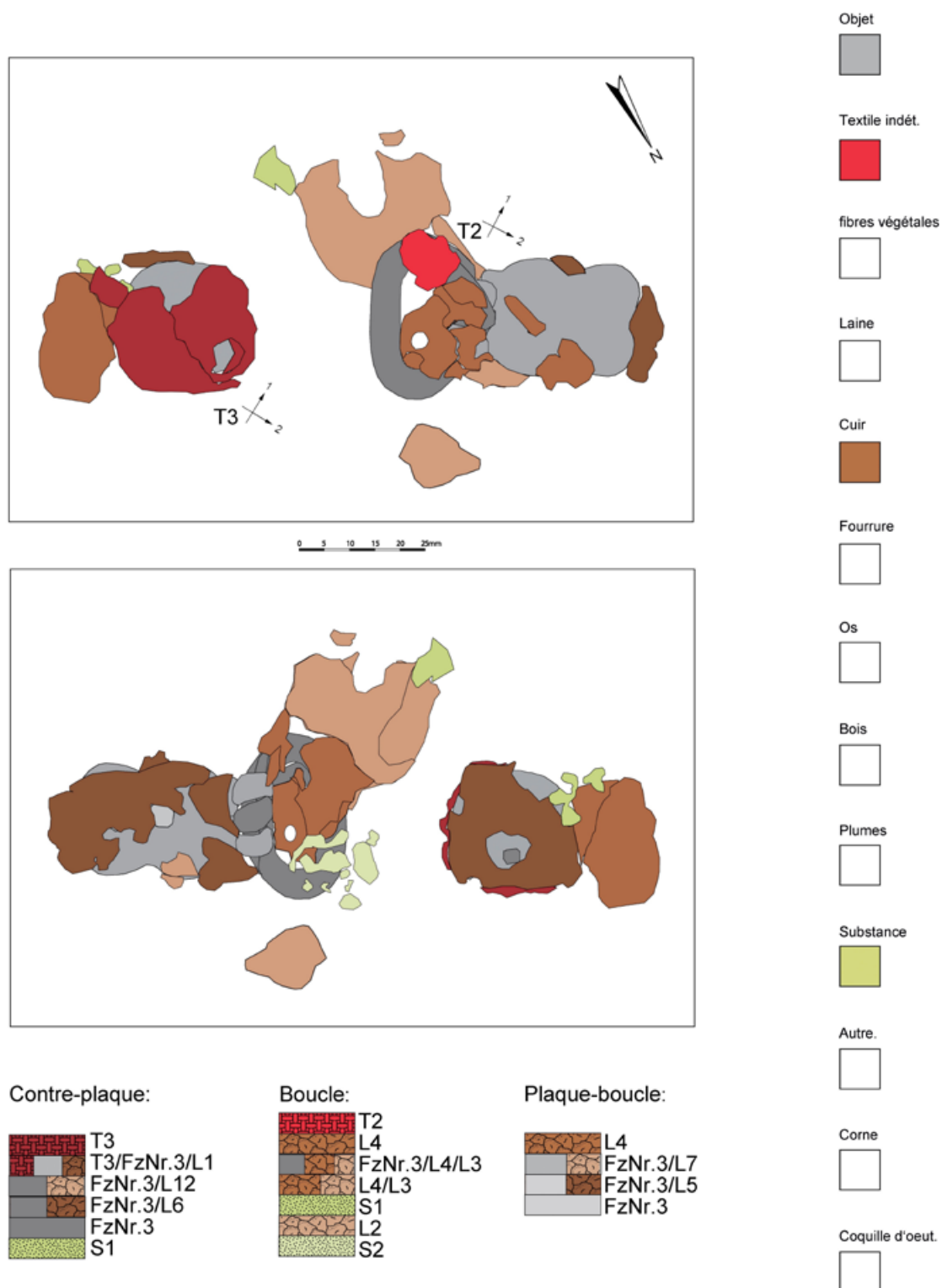


Figure 5 Cartographie et micro-stratigraphies des restes organiques sur la plaque-boucle et la contre plaque. © H. Huysseune.

Restaurateur: H. Huyseune

Date: 04.03.2015

Ref. de l'opération de fouille: M-2014-260-2 / Langenpreising ED: Crusta Nova, G-2014

US/Tombe: 20

Num. d'inventaire: FzNr. 1

Ref. laboratoire: ID39091-1

Cartographie des textiles et restes organiques

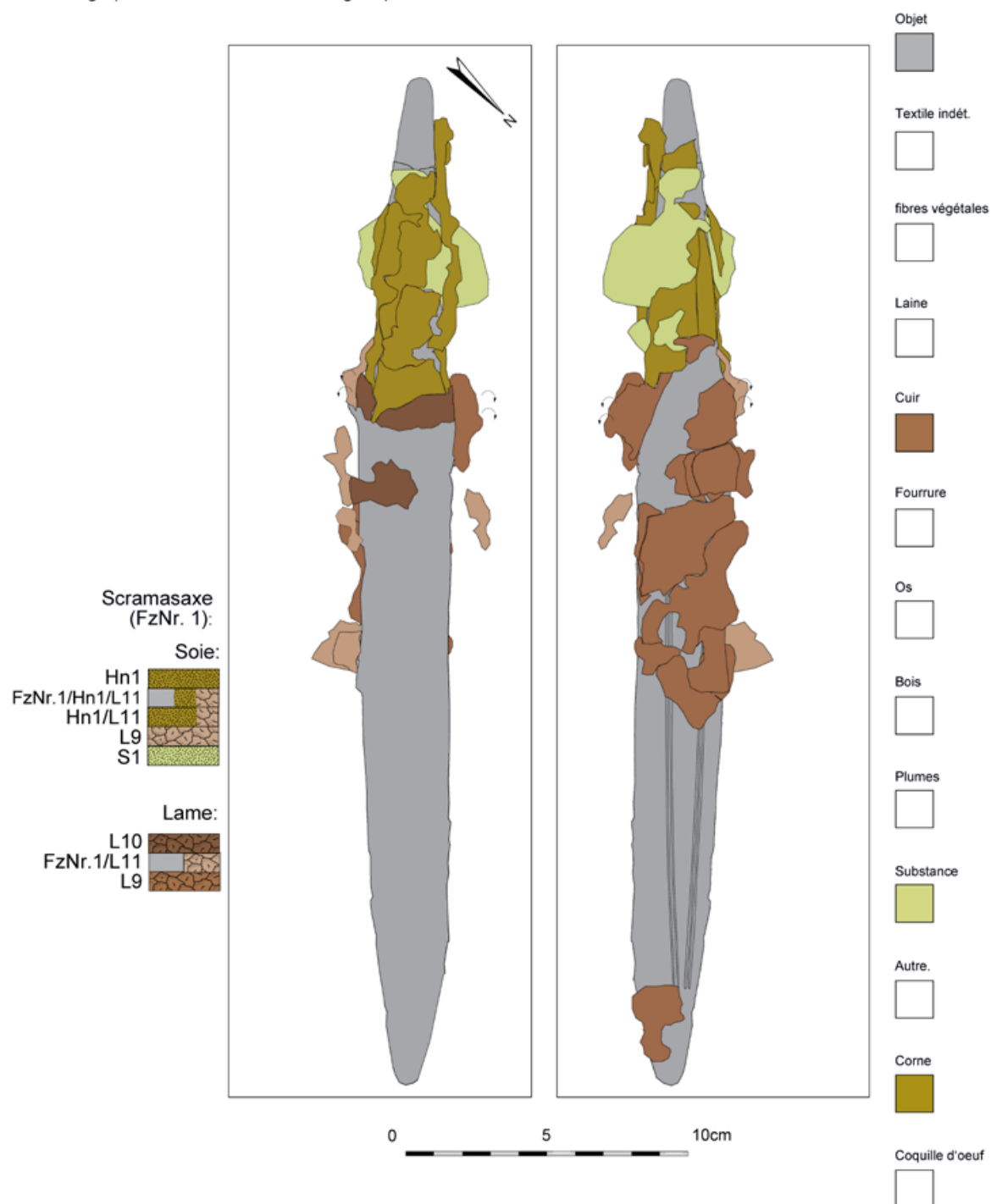


Figure 6 Cartographie et micro-stratigraphies des restes organiques sur le scramasaxe.

© H. Huyseune.

Identification et étude des restes organiques minéralisés

Au cours de la micro-fouille, puis du dégagement partiel des produits de corrosion pour l'étude technologique des objets, ont été identifiés un certain nombre de restes organiques minéralisés au contact des objets ferreux : des restes de cuir, de textile, de corne, de bois et de végétaux.

Concernant le scramasaxe (**fig. 6**), des restes de corne se concentraient sur la soie, tandis que des restes de cuir ont été identifiés sur les deux faces de la lame.

Sur la plaque-boucle et la contre-plaque (**fig. 7** et **5**), les restes de cuir, assez bien conservés, présentent un ensemble cohérent, avec des caractéristiques similaires. Les restes, dans l'axe horizontal des objets, ont une largeur de 24 à 26 mm, ce qui suggère une courroie de cuir de cette largeur, et d'une épaisseur d'environ 4 à 5 mm d'après l'examen du profil des objets. Le cuir passait également au travers de la boucle, en s'appuyant sur le côté de l'ardillon, fortement déplacé vers le haut. Une couche de cuir, plus fine et perpendiculaire à l'axe de l'objet, se trouvait au revers de la contre-plaque, encadrée en coupe par la plaque et la première couche de cuir identifiée (**fig. 8**). Sur l'objet n° 4, un des restes de cuir correspondait à un arrachement et ne couvrait qu'un quart de la surface de l'avert, quart correspondant à la zone de contact avec le scramasaxe. L'identification des bords du cuir au revers de cette plaque permet de proposer une courroie de cuir d'environ 25 à 26 mm de large, dans l'axe horizontal de l'objet. Ces caractéristiques correspondent avec celles observées sur la plaque-boucle et la contre-plaque. La fixation des trois éléments métalliques sur le cuir et leur agencement ont pu être compris au fur et à mesure de l'intervention (**fig. 9**).

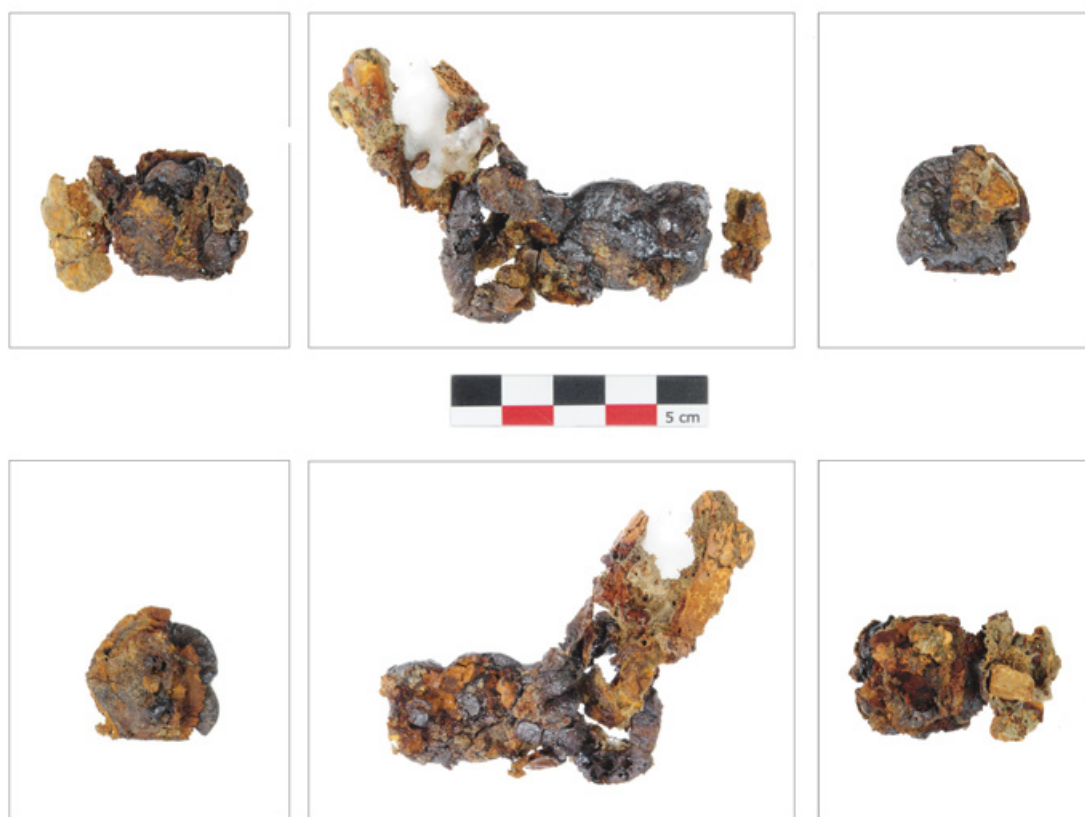


Figure 7 La garniture de ceinture métallique avec restes organiques, après intervention (avert en haut, revers en bas). © H. Huyseune.



Figure 8 Restes de cuir minéralisé sur la contre-plaque. Vue de profil : deux couches de cuir fixées à la plaque métallique. © H. Huyseune.

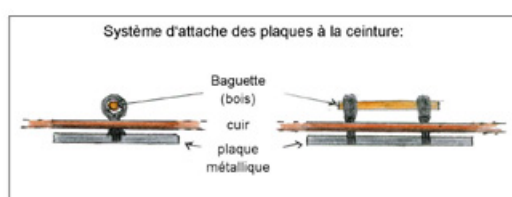
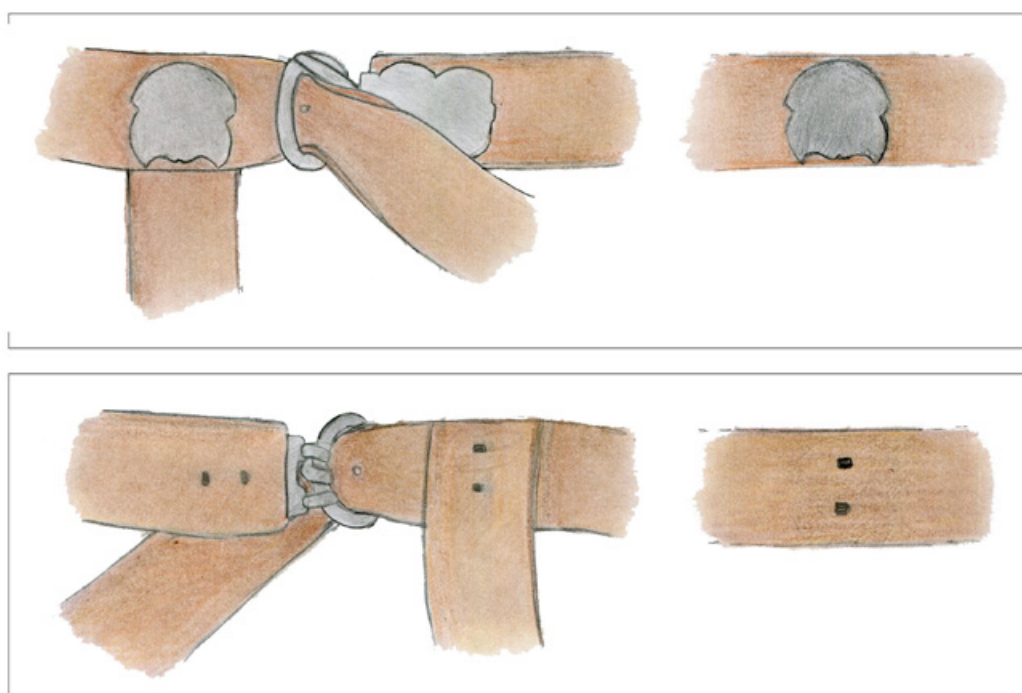


Figure 9 Proposition de reconstitution de la garniture de ceinture métallique et de la fixation à la ceinture. © H. Huyseune.

Deux restes textiles d'armure toile 1:1 ont été identifiés sur la garniture de ceinture (fig. 5 et 10). Leur orientation est proche, mais ils ne présentent pas exactement les mêmes caractéristiques techniques (épaisseur et densité des fils). Il est délicat d'affirmer qu'ils puissent faire partie d'un même textile, conservé de manière différenciée et déformé au cours de l'enfouissement, mais cette possibilité ne peut être totalement écartée.

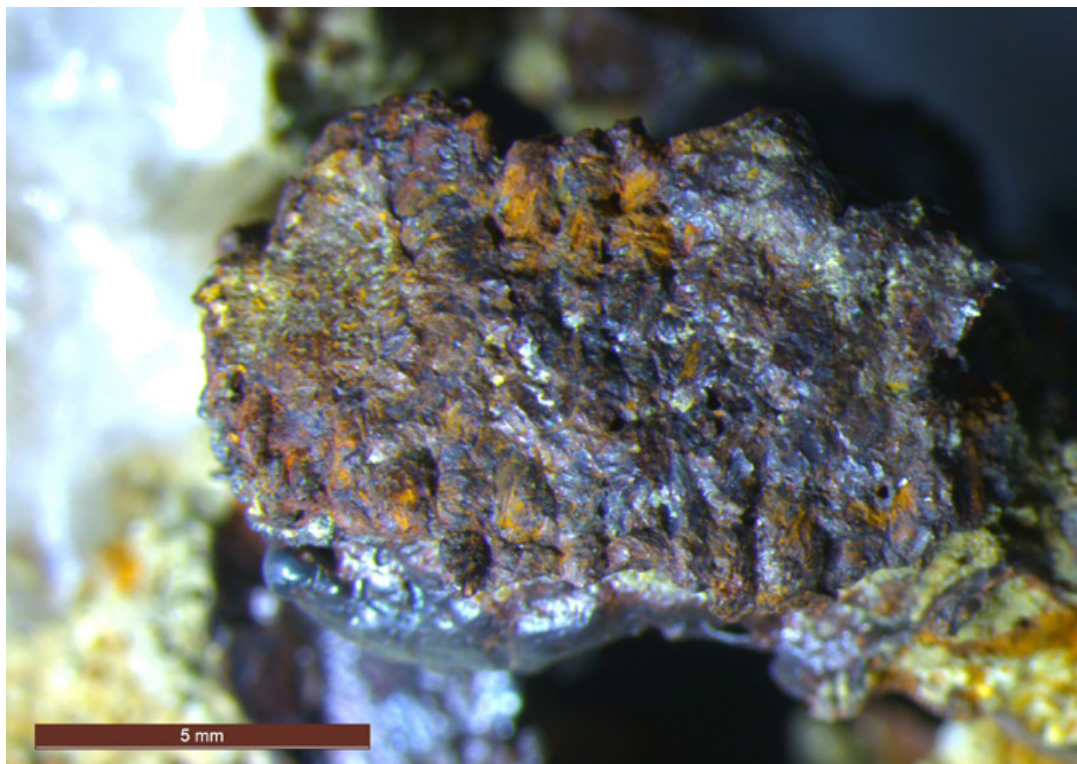


Figure 10 Reste de textile minéralisé sur l'ardillon de la plaque-boucle. © H. Huysseune.

Sur le fer de lance, des restes de bois se trouvaient sur les deux faces (sur la douille au revers, et sur la flamme à l'avant), ainsi que dans la douille (**fig. 11**). Un examen dendrologique a permis de définir les essences de deux de ces restes (feuillus, famille des érables), l'état de conservation du troisième ne permettant pas de caractérisation. Au revers du fer de lance, sur la flamme, se trouvait un reste textile relativement grossier mais bien conservé, un sergé de rapport 2:2 (**fig. 12**).

Les restes de végétaux sur le revers du fer de lance, en contact direct avec le textile, s'apparentent à des matériaux comme de la paille ou du roseau. Des végétaux sont également identifiables sous la forme d'empreintes sur la fleur du cuir au revers du scramasaxe.



Figure 11 Le fer de lance après intervention (avers à gauche, revers à droite).
© H. Huysseune.

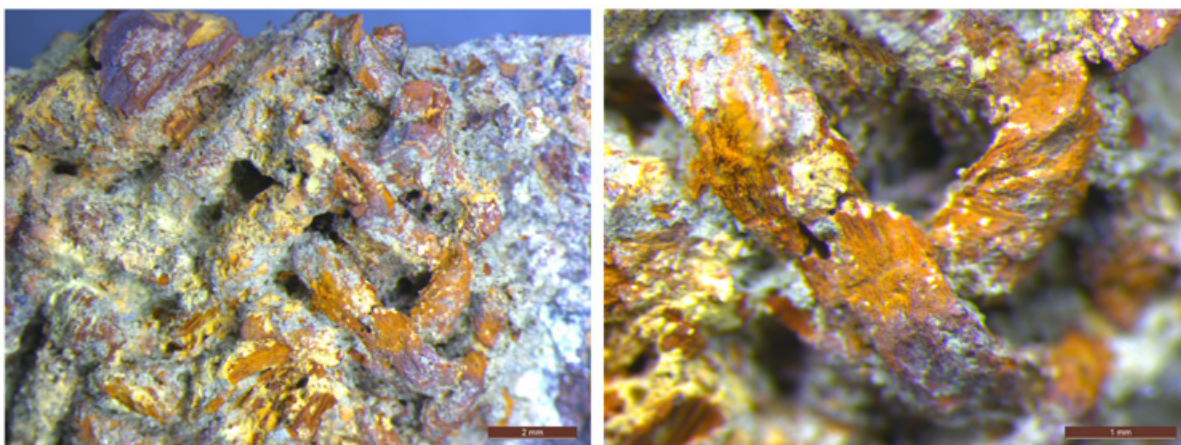
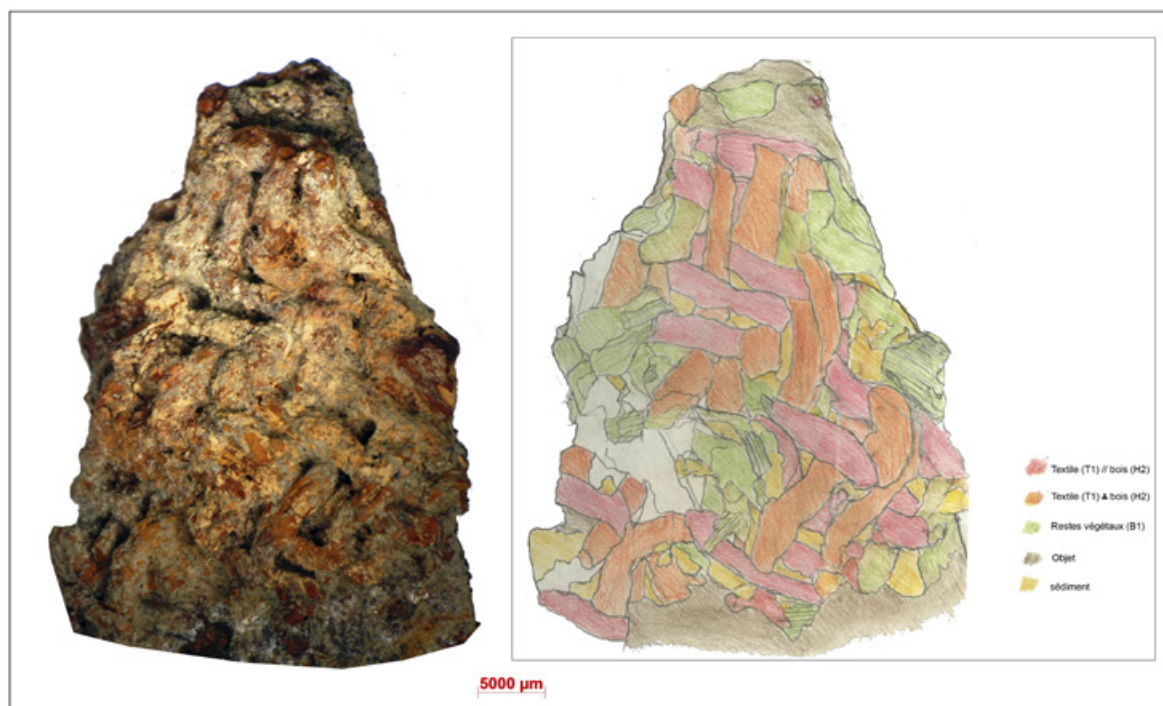


Figure 12 Reste de textile minéralisé au revers du fer de lance : macrophotographies et dessin interprétatif. © H. Huyseune.

Interprétation de la sépulture

L'intervention a permis de recueillir un ensemble d'informations relatives à l'étude technologique des objets et aux restes organiques identifiés. Par la mise en perspective de toutes ces données par rapport à l'ensemble de la sépulture (**fig. 3**), il a été possible de comprendre le dépôt des objets dans la sépulture, l'ensemble de son aménagement, et d'en proposer une reconstitution avec illustration graphique (**fig. 13**) :

- Un lit végétal (composé sans doute de paille, roseaux, écorces...), épais de quelques centimètres d'après l'analyse taphonomique (et légèrement plus épais sous la tête?)¹ devait être aménagé sur le fond de la sépulture. Les dimensions de ce « matelas » ne peuvent être estimées, mais il devait au moins correspondre aux dimensions du corps.

¹ Communication personnelle de P. Georges, archéo-anthropologue, INRAP.

- Sous la tête, les végétaux devaient être recouverts par un tissu dont les dimensions ne peuvent être estimées, puisque le seul indice se trouve sur le fer de lance. Ce textile ne peut pas avoir recouvert l'ensemble du lit végétal, puisqu'au revers du scramasaxe les végétaux ont laissé leur empreinte dans la fleur du cuir à plusieurs endroits.
- Le dépôt de la ceinture à garnitures métalliques multiples (sans décor particulier hormis la forme des plaques), semble inhabituel : elle était disposée étendue sur le torse (soit non portée), mais fermée de manière originale, le cuir passant dans la boucle sans que l'ardillon n'y ait été inséré.
- Le scramasaxe a été placé sur le bras gauche, dans une enveloppe en cuir, peut-être un fourreau.
- L'œuf était posé sur le côté droit du bassin (il n'est pas impossible qu'il ait été placé dans un contenant en matériaux périssables, mais dans ce cas il se serait totalement décomposé). Le dépôt d'œufs est attesté comme une pratique récurrente dans les nécropoles mérovingiennes, dans les sépultures d'adultes ou d'enfant, en tant qu'offrande à connotation symbolique.
- Le fer de lance a été déposé à une dizaine de centimètre du crâne, fer vers le haut. Une partie de la hampe au moins devait être insérée dans la douille. Un objet en bois se trouvait sans doute au contact du fer de lance.



Figure 13 Proposition de reconstitution de la sépulture 20. © H. Huysseune.

- Il est vraisemblable que le corps ait été recouvert ensuite d'un tissu, comme une couverture ou un linceul (dont les restes seraient ceux identifiés sur la garniture de ceinture).

Il n'a pas été possible de caractériser plus précisément les restes organiques, à savoir de déterminer l'espèce animale pour l'ensemble de restes de cuir, les caractères morphologiques (implantation des poils) n'étant plus lisibles. Et malgré un examen au MEB des différents restes textiles, la nature des fibres n'a pu être déterminée en raison du mauvais état de conservation².

Enfin, aucune des informations recueillies ne permet d'affirmer que l'enfant a été inhumé habillé. La reconstitution graphique proposée suite au traitement suggère simplement une tunique à titre indicatif, selon la tradition des « sépultures habillées » et le type de vêtement dont un enfant de cet âge pourrait être revêtu, par analogie avec les données archéologiques.

Conclusion

L'étude en laboratoire de cette sépulture prélevée en motte a permis d'apporter certaines informations au regard des problématiques archéologiques relatives à l'inhumation des jeunes enfants au Haut Moyen Âge. La compréhension du dépôt de la ceinture et des garnitures métalliques n'aurait pu être complète sans prélèvement. L'orientation des objets les uns par rapport aux autres, mais aussi et surtout par rapport au squelette, a été primordiale pour l'interprétation. L'intervention réalisée et l'état de conservation de l'ensemble permettent d'attester avec certitude la pratique d'un dépôt de la ceinture fermée, mais non portée. Ce type de positionnement de l'objet sur le corps souligne la portée symbolique des dépôts funéraires (déjà suggérée par la connotation particulière de l'œuf) : les objets étaient disposés avec les défunts pour leur valeur rituelle, acquise au moment de l'inhumation. Cette pratique va à l'encontre d'un but d'ostentation et de prestige lors de la préparation du défunt, soulignant la différenciation entre les rites de costumes et les rites d'inhumation.

Concernant le traitement de conservation-restauration, les partis pris induits par l'*investigative conservation* peuvent soulever des interrogations quant à la conservation à long terme des objets métalliques. Outre les problématiques de nettoyage, cette méthode pose la question de la stabilisation des ferreux. Au BLfD, elle est mise en œuvre à titre d'exception, au profit des mesures de conservation préventive. Les objets sont conservés dans une réserve sèche régulièrement contrôlée, ou en anoxie partielle pour les plus fragiles ou les objets composites. Ceci implique un suivi des collections rigoureux et la mise en œuvre d'importants moyens pour la régulation du climat. Dans le cas des objets de la sépulture 20, ces mesures de conservation préventive ont prévalu sur la décision d'une stabilisation en bain de sulfite alcalin. Le statut du BLfD, son organisation, l'étroite collaboration entre les archéologues, les conservateurs-restaurateurs et le laboratoire d'analyses permettent la mise en œuvre idéale des principes de l'*investigative conservation*.

² Conclusions établies après discussion avec Britt Nowak-Böck et Tracy Niepold (conservateurs-restaurateurs au BLfD).

Remerciements

Mes plus sincères remerciements vont à l'ensemble de l'équipe du laboratoire de restauration du BLfD à Munich, ainsi qu'à Clotilde Proust (conservateur-restaurateur au MAN), Manuel Leroux (conservateur-restaurateur au C2RMF) et Patrice Georges (archéo-anthropologue, INRAP).

Références bibliographiques

Fischer A. (1994), *Reste von organischen Materialien an Bodenfunden aus Metall : Identifizierung und Erhaltung für die archäologische Forschung*, mémoire de fin d'études, Institut für Technologie der Malerei an der Staatlichen Akademie der Bildenden Künste, Stuttgart.

Fuchs K. et al. (1997), *Die Alamannen*, catalogue d'exposition, Archäologischen Landesmuseum Baden-Württemberg, Stuttgart (14 Juni 1997 – 14 September 1997), Stuttgart, Theiss, 528 p.

Gasteiger S. (2013), « Strategien zum Umgang mit archäologischen Eisenfunden in der bayerischen Bodendenkmalpflege », dans Brather S. und Krausse D. (dir.), *Fundmassen : innovative Strategien zur Auswertung frühmittelalterlicher Quellenbestände, Materialhefte zur Archäologie in Baden-Württemberg* 97, p. 115-130.

Haberstroh J. (2015), « Kinder der Nobiles? Frühmittelalterliche Gräber in Langenpreising, Landkreis Erding, Oberbayern », *Das Archäologische Jahr in Bayern* 2014, p. 66-67.

Moulherat C. (2008), « Archéologie des textiles, une nouvelle méthodologie appliquée à l'étude des tissus minéralisés », *Archéologie des textiles et teintures végétales*, actes de la table ronde Archéobotanique 2006 (Compiègne, 28-30 juin), *Les Nouvelles de l'archéologie*, n° 114, déc. 2008, p. 18-23.

Nowak-Böck B., Von Looz G. (2013), « Methodik der Bearbeitung von organischen Resten an den Metallfunden », dans Haas-Gebhard B. und Fehr H. (dir.), *Unterhaching – Eine Grabgruppe um 500 bei München, Abhandlungen und Bestandskatalog*

Archäologischer Staatsammlung München 1, München : Archäologische Staatsammlung München, p. 156-185.

Ottinger I. (1974), « Waffenbeigaben in Knabengräbern. Ein Beitrag zur Beigabensitte der jüngeren Kaiserzeit und des Merowingerzeit », dans Kossack G. et Ulbert G. (éd.), *Studien für Vor- und Frühgeschichtlichen Archäologie, Festschrift für Joachim Werner zum 65. Geburtstag. Teil II : Frühmittelalter*, München, Verlag C.H. Beck, p. 387-410.

Passard F., Gizard S., Urlacher J.-P. (dir.) (2003), *Burgondes, Alamans, Francs, Romains dans l'est de la France, le sud-ouest de l'Allemagne et la Suisse, V^e-VII^e siècle après J.-C.*, actes des XXI^e Journées internationales d'archéologie mérovingienne (Besançon, 20-22 octobre 2000), Besançon, Presses universitaires franc-comtoises, (coll. Annales littéraires de l'université de Franche-Comté), p. 143-153.

Proust C. (2009), « Méthodologie d'étude des restes organiques minéralisés », dans Bizot B. et Signoli M. (dir.), *Rencontre autour des sépultures habillées*, actes des journées d'étude organisées par le Groupement d'anthropologie et d'archéologie funéraire et le service régional de l'Archéologie de Provence-Alpes-Côte d'Azur, (Carry-le-Rouet [Bouches-du-Rhône], 13-14 décembre 2008), Teloché, GAAF, p. 103-118.

Rast-Eicher A. (2012), « Textilien, Leder und weitere organische Reste », dans Windler R., *Ein Gräberfeld des 5.-7. Jahrhunderts bei Flaach mit Beiträgen von Christian Bader, Marlies Klee, Elisabeth Langenegger, Antoinette Rast-Eicher und Katharina Schmidt-Ott (ZH)*. Zürcher Archäologie Heft 29, p. 56-77.

L'auteur

Hélène Huysseune

Conservateur-restaurateur en archéologie
142, rue du Chemin vert, 75011 Paris
helenehuysseune@yahoo.fr

DIX ANS DE CONSERVATION-RESTAURATION SUR LES FOUILLES DE LATTARA : LE CAS DE LA ZONE 1 DÉLIMITÉE PAR DES PALPLANCHES

JULIE TOUZEAU

Résumé Sur le site protohistorique de *Lattara* (Hérault), la zone de fouille n° 1 présente un contexte de conservation du mobilier original lié à sa délimitation par un caisson de palplanches en fer. Installée depuis 1983, cette structure délimite une zone de 155 m² fouillée un mois par an après pompage et immergée le reste de l'année. Dix années de suivi du chantier ont permis de reconnaître que les états de conservation des artefacts découverts dans les couches archéologiques les plus récentes et les plus anciennes présentent des caractéristiques très différentes. Dès 2005, les restes organiques gorgés d'eau riches en fer sont apparus dans les occupations du v^e siècle avant notre ère. Des solutions pour le travail de terrain et la conservation ont été progressivement mises en place afin de s'adapter aux différents mobiliers. Dans ce même contexte, les objets métalliques présentent des faciès de corrosion très différents. L'environnement riche en fer de ce contexte humide a entraîné des états de conservation inattendus. Ceci suscite des interrogations qui doivent être appréhendées de conserve avec le reste de l'équipe, au gré des années de fouille qui se succèdent.

Lattara est une cité portuaire protohistorique fondée au vi^e siècle avant notre ère et occupée jusqu'à l'époque romaine. Elle se situe sur le littoral languedocien près de Montpellier, dans un delta du Lez au bord de l'étang en connexion avec la Méditerranée. Le site est découvert dans les années 1960 par Henri Prades. Dès 1983 débute une fouille programmée dirigée successivement par Michel Py, Thierry Janin, Eric Gailledrat et Pierre Garmy. Les fouilleurs bénévoles, futurs archéologues en formation, sont encadrés par une équipe pluridisciplinaire d'une quinzaine de personnes. Des nombreuses spécialités sont représentées, avec un premier pôle composé d'ichtyologues, de géomorphologues, d'anthracologues et d'archéozoologues. Les céramologues et un conservateur-restaurateur, moi-même, dès 2004 forment le second pôle. Les différents programmes de recherche de ces dix dernières années portent sur les remparts, les maisons à cour du iii^e siècle avant notre ère, la période romaine et la fondation de *Lattara*. Les fouilles entreprises dans la zone 27 et la zone 1 portent sur ce dernier axe.

La zone 1 délimitée par un caisson de palplanches en fer

La fouille de la zone 1 (**fig. 1**) a pour objectif de déterminer le faciès culturel des strates de fondation de la ville et de mesurer l'emprise du monde étrusque en Méditerranée. Les investigations ont été menées ces dix dernières années par Eric Gailledrat (CNRS, UMR 5140 Archéologie des Sociétés Méditerranéennes), Carmen Belarte (*Institut Català d'Arqueologia Clàssica*) et Ariane Vacheret (contractuelle CNRS, UMR 5140).

La zone 1 a pour spécificité d'être délimitée par un caisson de palplanches en fer. Ce dernier permet la fouille des couches du VI^e et du V^e siècle avant notre ère qui se situent en dessous de la nappe phréatique. Son installation remonte à l'automne 1996 et s'explique par une importante stratification, de plus de 5 m, et par d'importantes remontées d'eau. Ce phénomène n'est pas nouveau : dès la fondation de *Lattara* les habitants ont été contraints de surélever fréquemment leurs habitations et les rues, produisant ainsi une stratification importante. La fouille programmée de cette zone induit une variation cyclique du milieu qui, immergé onze mois par an, est mis à sec par pompage afin de permettre la fouille le mois restant.



Figure 1 Zone 1 durant la campagne de fouille d'août 2007. © Julie Touzeau.

Le mobilier découvert

Le mobilier découvert est relativement classique pour une fouille de comptoir portuaire de la protohistoire. Les céramiques sont retrouvées en grande quantité. Elles témoignent des faciès culturels présents et des échanges dans le monde méditerranéen. Il s'agit d'amphores étrusques, massaliotes, de céramiques communes, de céramiques attiques à figures rouges ou à figures noires, de céramiques en bucchero, de céramiques à pâtes claires... Des objets plus rares, comme un protomé féminin grec en terre cuite avec des restes de polychromie et un scarabée en pierre avec son sceau égyptien, illustrent le monde méditerranéen. D'autres types de mobilier ont été découverts, en matériaux osseux, organiques ou en métal.

Les premiers restes en matière organique gorgés d'eau sont apparus dès 2005. Ils sont les témoins des restes de construction des maisons et de divers aménagements. Les choix de conservation ont été adaptés aux découvertes. Par exemple, les restes des deux chambranles d'une porte et sa crapaudine ont été prélevés et conservés. En revanche, d'autres traces ou parties de structures, comme une en osier découverte en 2014, ont été fouillées, étudiées *in situ* puis détruites et échantillonnées lors de leur démontage.

La découverte en 2011 d'une feuille d'arbre (**fig. 2**), conservée entre deux assises de briques crues du ^v^e siècle avant notre ère, constitue une découverte plus originale.



Figure 2 Feuille d'arbre, US 53509, découverte en 2011. © Nasrine Anwar.

Afin de conserver cette feuille en vue de son étude, un protocole de séchage lent a été mis en place. L'enjeu constituait à conserver la feuille car, sur le terrain, il n'avait pas été possible de déterminer l'espèce végétale en présence. L'hypothèse de la présence d'une feuille de vigne aurait enrichi les connaissances acquises sur la culture du raisin et, pour cette raison, il s'agissait d'une découverte importante. L'élaboration du protocole de conservation n'a pas été simple, compte tenu de l'absence de publications sur la conservation des végétaux archéologiques. Elle a toutefois pu s'appuyer sur les recommandations amicales de certains collègues conservateurs-restaurateurs spécialisés dans les matières organiques gorgées d'eau. La feuille a été placée sur une feuille de plastique transparent, puis débarrassée de son sédiment à l'aide d'un filet d'eau et d'un pinceau. Elle a ensuite été retournée sur un autre film de plastique rigide en s'aidant des effets électrostatiques. Après une couverture photographique, la feuille d'arbre a été placée entre les deux films de plastique rigides, le tout est glissé dans un minigrip® ajusté contenant un filet d'eau et la maintenant à plat afin d'éviter les déformations. Cet emballage est alors été posé dans une boîte hermétique, elle-même placée dans une boîte plus grande. L'opération a été répétée une nouvelle fois puis le tout a été placé dans un réfrigérateur, protégeant ainsi des variations de température, au frais et dans le noir. Le séchage lent et son contrôle a été confié à l'anthracologue en charge de l'étude des restes organiques sur le chantier de *Lattara*, Lucie Chabal. Afin de faciliter le suivi de la procédure, sur chaque couvercle de boîte un autocollant a été collé, stipulant la date à laquelle le couvercle pouvait être ouvert. Le principe consistait à éliminer une boîte tous les trois mois. Ce protocole a été suivi avec rigueur; le séchage lent s'est bien déroulé et la feuille est encore en bon état de conservation. La détermination réalisée depuis a permis d'identifier une feuille de platane, ce qui constitue une découverte majeure pour les études paléo-environnementales. Une pigne de pin découverte la même année a subi le même protocole.

Les résidus végétaux gorgés d'eau, graines et restes divers, qui sont la base des études carpologiques, posent un réel problème de conservation à long terme. Cette difficulté a régulièrement été soulevée dans les discussions d'équipe ainsi qu'avec d'autres carpologues, sans malheureusement trouver de solutions satisfaisantes.

L'apparition des restes organiques gorgés d'eau lors des fouilles archéologiques de *Lattara* ont permis de sensibiliser ou d'enseigner aux archéologues et à la centaine de fouilleurs bénévoles qui se sont succédé dans la zone 1, les gestes et les réflexes inhérents à la fouille de ce type de vestiges, à savoir comment maintenir les restes à l'humidité sur le terrain, à l'aide de serpillières et de bâches plastiques par exemple, puis à les nettoyer, les manipuler et les conditionner. Le dépôt archéologique de Lattes n'est pas adapté à la conservation des bois gorgés d'eau et, de plus, personne ne peut en assumer la charge et la maintenance durant l'année, entre deux campagnes de fouille. Ce problème a trouvé sa réponse grâce à l'acquisition, par l'équipe de recherche à laquelle est rattachée Lucie Chabal, d'un conteneur réfrigéré (**fig. 3**).



Figure 3 Conteneur réfrigéré, stockage des organiques gorgés d'eau. © Julie Touzeau.

Les restes organiques ont été, à la fin de chaque campagne, inventoriés, conditionnés et stockés en eau dans des sachets Minigrip® et bacs Alibert® avec couvercle puis rangés dans le conteneur, confiés à la charge de l'anthracologue. D'une année sur l'autre, les bois gorgés d'eau se sont très bien conservés. Cependant, certains d'entre eux dégorgent une grande quantité de substance ferrugineuse et d'autres présentent des dépôts d'oxydes de fer en surface. On peut alors s'interroger sur le phénomène à l'origine du fait que certains restes organiques gorgés d'eau, indépendamment de leurs états de conservation, de leurs dimensions ou de leurs localisations dans cette zone de fouille, dégorgent ou non des substances ferrugineuses et que d'autres présentent des dépôts d'oxydes métalliques en surface. L'installation depuis une vingtaine d'années du caisson de palplanches en fer est peut-être un des facteurs liés à ces dépôts et ces dégorgements. D'autres questions demeurent, comme celles relatives aux conséquences, sur la conservation à long terme et la restauration des restes organiques gorgés d'eau, de la présence de ces oxydes de fer tant à l'intérieur qu'en surface.

Conséquence de la présence des palplanches en fer depuis dix-neuf ans sur les céramiques et les objets

La fouille programmée a entraîné un rythme cyclique d'immersion et séchage de surface de la zone de fouille. Ces variations ont pu avoir une conséquence sur la conservation du mobilier. La céramique ne semble pas être affectée. Cependant, les analyses entreprises pour la caractérisation des pâtes par Emilie Compa, lors de sa thèse sur les céramiques à pâte claire, ont mis en évidence des résultats inexploitable dus à certaines altérations. Le contexte d'enfouissement en milieu aquatique pauvre en oxygène a entraîné des modifications dans la composition minéralogique et chimique de la pâte, allant même jusqu'à la modification de la couleur originale vers une couleur gris foncé. Un des processus d'altérations est par exemple la précipitation de manganèse autour des pores de la céramique.

L'incidence de la présence des palplanches en fer sur le mobilier organique a été soulevée et, de la même manière, on peut se demander si ce dispositif a également influencé les processus de corrosion des métaux. Dans les contextes d'habitat protohistoriques, le mobilier métallique découvert n'est en général pas abondant. Les objets en fer présentent des états de conservation identiques à ceux retrouvés dans les autres zones fouillées sur le site. Si une rouelle en étain a été découverte très peu corrodée, les objets en alliage cuivreux présentent pour leur part des faciès de corrosion très différents selon leur niveau d'enfouissement. Les premiers éléments retrouvés ont subi des processus de corrosion similaires à ceux retrouvés dans le reste du site : la surface d'origine est conservée dans les couches de corrosion de cuivre hétérogènes. Les objets en alliages cuivreux découverts lors des dernières campagnes sont, en revanche, très faiblement corrodés. De manière plus originale et singulière, une fibule en alliage cuivreux, obj-53885-1 (fig. 4) a été découverte en 2011 avec une surface d'origine recouverte de produits de corrosion de fer, ce que des analyses par fluorescence X



Figure 4 Fibule en alliage cuivreux, obj-53885-1, dont la surface d'origine est recouverte d'oxydes de fer. © Nasrine Anwar.

ont permis de corroborer (16 % Fe, 22 % Cu, 2,5 % Sn). L'état de conservation de cet objet pose des questions sur les processus de corrosion qui ont menés à la formation des oxydes de fer sur sa surface.

Ainsi, les palplanches et les variations du niveau d'eau annuellement pompée pour la fouille ont probablement eu une incidence, quoique encore difficile à préciser, sur les processus de corrosion de ces objets.

Conclusion

Délimitée par un caisson de palplanches en fer, la fouille programmée de la zone 1 du site de *Lattara* a permis de mettre au jour une grande quantité de mobilier. L'originalité de l'état de conservation de certains d'entre eux a suscité une succession de questions et l'adaptation des interventions de conservation-restauration.

Cette expérience montre aussi tout l'intérêt de l'intégration pérenne d'un conservateur-restauteur dans l'équipe de fouille, ce qui permet sur le terrain un partage des demandes et des questionnements, un dialogue entre les différents spécialistes et une discussion sur les attentes et les objectifs de chacun. Cela va de pair avec la formation et l'expérience des conservateurs-restauteurs indispensable à la fouille, au travail de terrain.

Références bibliographiques

Compan É., Martínez Ferrera V. (2009), « Approximation de la provenance de la céramique à pâte claire massaliète de la ville de *Lattara* (Hérault) depuis l'étude archéométrique », dans *Ressources, sociétés, biodiversité, XVII^e Colloque du GMPCA*, poster.

Garmy P., Gailledrat E., Ciesielski E., Compan E., Dubosq S., Jorda C., Liottier L., Piquès G., Rivalan A., Rovira N., Sanz S., Tillier M., Touzeau J., Vacheret A. (2014), *La zone 1. Rapport final d'opération 2011-2014, LATTARA*, (Lattes, Hérault), 249 p.

Py M. (2009), *Lattara- Comptoir gaulois méditerranéen entre Étrusques, Grecs et Romains*, Lattes (Hérault), Errance, 352 p.

Roux J.-C. (1996), « L'îlot 1D et l'évolution de la zone 1 au début du IV^e siècle avant notre ère, Lattes (Hérault) », dans *Rapport triannuel 1995-1997*, Lattes, p. 7-26.

L'auteur

Julie Touzeau contractuelle, CNRS, UMR 5140 Archéologie des sociétés méditerranéennes, Lattes, julie.touzeau@gmail.com

LES COMPOSITES ARCHÉOLOGIQUES ET LE CONSERVATEUR-RESTAURATEUR

MARINE CROUZET

Résumé Cet article présente une réflexion visant à redéfinir une catégorie d'objets archéologiques communément appelés les « composites » par les restaurateurs; ce terme recoupe une variété d'approches que nous avons souhaité étudier. Nous nous proposons ainsi de montrer en quoi la notion de « composite archéologique » est particulièrement révélatrice de la profession de conservateur-restaurateur et de souligner que l'enjeu de l'intervention sur ces objets devrait s'articuler autour d'une réflexion sur la notion d'interface.

Mots clefs composites, archéologie, objets archéologiques, définition, notion, interface, conservation-restauration, discipline.

« *Composite as a group can be a conservator's worst nightmare* » (Rodgers, 2004).

Les composites, cauchemar du conservateur-restaurateur? La remarque de B. Rodgers, formulée comme une boutade, est d'autant plus ironique lorsqu'on la croise avec la consigne donnée dans un guide de la conservation préventive élaboré en 2000 : dans la catégorie « composites », les auteurs recommandent en effet... de consulter immédiatement un restaurateur (Deyber, 2009, p. 56). Et voilà le conservateur-restaurateur devenu expert d'un objet composite, sans qu'il sache forcément lui-même comment le traiter, ni même le définir.

La contrainte est souvent le premier qualificatif attribué à la conservation des objets composites : peut-être faut-il voir, derrière cette attitude des conservateurs-restaurateurs, une interrogation plus profonde, entre l'aveu des limites de la profession et l'intérêt du défi technique.

Les composites archéologiques, objets archéologiques composés de différents matériaux, sont en effet des exceptions, à la fois dans les manuels de conservation, dans les bases de données et dans les dossiers de restauration. Ils échappent aux classements traditionnels et, lorsqu'il s'agit d'intervenir pour leur conservation, les traitements doivent souvent être adaptés, les prises de décision sont compliquées et les habitudes bousculées, si bien que la définition de protocoles semble impossible.

Cette difficulté représentée par les objets composites peut aussi être le signe d'une application stricte des principes déontologiques de la discipline : préserver l'intégrité de l'objet. Mais la notion même d'intégrité pose problème dès lors que l'on a affaire à un composite : ces objets invitent donc autant à inventer des solutions ingénieuses qu'à repenser les principes de base qui sous-tendent l'acte du conservateur-restaurateur.

C'est ce à quoi je me suis essayée dans le cadre d'un mémoire de master professionnel en Conservation-restauration de l'université Paris-I-Panthéon-Sorbonne et soutenu en juillet 2015. La réflexion proposée ici s'appuie notamment sur un sondage réalisé auprès de plusieurs conservateurs-restaurateurs, de la France au Québec en passant par la Suède : qu'ils en soient tous remerciés à nouveau ici.

Le composite archéologique : une notion de restaurateur

Les objets composites sont souvent confondus dans les registres avec les objets de l'un ou l'autre matériau qui les compose. Il est donc difficile de les repérer pour les étudier, eux ou leurs dossiers de restauration associés. Ce qui peut de prime abord apparaître comme une difficulté est aussi cependant révélateur du statut de ces objets. La focalisation sur les matériaux qui composent l'objet entraîne une conclusion paradoxale : l'utilisation du terme « composite » n'est pas déterminante pour son classement. Il est ainsi fréquent de trouver « type d'objet : couteau; matériaux : bois+fer » dans une base de données muséale, tandis que le rapport de restauration décrira ce même couteau comme un objet « composite ». L'utilisation du mot semble donc associée à une idée plus qu'à une réalité, et semble aussi adressée à un certain destinataire. Cela est en effet confirmé par le fait que le mot « composite » est très souvent utilisé sans précision, comme s'il parlait de lui-même à la communauté des lecteurs. Toutefois, comme ce mot est aussi utilisé dans d'autres domaines, il s'agissait de savoir à quoi il faisait référence dans le champ des objets archéologiques, puis pour un restaurateur, en partant de la définition commune : « *un composite archéologique est un artefact composé de matériaux hétérogènes* ».

On s'aperçoit rapidement que cette définition n'est pas satisfaisante, car en restauration le terme de composite n'est pas toujours utilisé lorsque plusieurs matériaux sont en jeu dans un objet archéologique. En revanche, « composite » est souvent lié à une difficulté, lorsque les matériaux associés ont un comportement chimique très différent voire contradictoire. En effet, les restaurateurs en archéologie ne parlent presque pas de composite pour un objet fait de plusieurs matériaux organiques, mais utilisent systématiquement ce terme pour un objet composé de matériaux organiques et de métaux impliquant la présence de produits de corrosion (**fig. 1**). D'où une nouvelle définition : « *un artefact composé de matériaux aux propriétés hétérogènes et parfois incompatibles* ».

Cette incompatibilité pourrait être anecdotique si l'objet pouvait être démonté et les matériaux isolés, mais le terme de composite concerne surtout des objets *indissociables*. Sur quoi repose cette contrainte? Un couteau, assemblé à l'origine, est techniquement démontable. Quand bien même il serait grippé ou corrodé, la séparation d'origine des parties peut toujours être retrouvée, en usant d'une certaine force, au risque toutefois d'endommager la zone de contact. C'est précisément ce risque qui justifie la qualification de l'objet comme composite par le restaurateur. Cherchant à *préserver* la matière et la forme d'un objet archéologique (Brandi, 1977, p. 10), le restaurateur se retrouve dans l'impossibilité, non pas pratique, mais bien morale, de séparer de force les éléments d'un objet composite. Par conséquent, lorsqu'un restaurateur décrit un objet archéologique comme composite, il sous-entend surtout le caractère unitaire sur lequel repose son authenticité; en l'étiquetant comme indissociable, il exprime en réalité le respect de son intégrité. D'où une troisième définition : « *un artefact dont l'intégrité repose sur l'association irréversible de matériaux aux propriétés hétérogènes et parfois incompatibles* ».

La notion de composite est ainsi liée à la déontologie de la discipline, mais elle dépend *également* de la pratique quotidienne du métier. En effet, nous sommes formés par matériau, une tendance que reprennent les manuels. Dès lors, la reconnaissance d'un objet comme composite indissociable force aussi à bousculer notre classement mental des traitements par matériau et par conséquent à reconnaître la limite de cette approche. Face au composite, il devient impératif de reconsidérer nos méthodes pour les adapter. Au final, parler de composite dans le champ de la conservation-restauration, c'est donc déjà bien plus qu'une simple description matérielle : c'est une amorce de constat d'état, qui anticipe les contraintes de l'objet pour le travail du restaurateur. D'où, enfin, la définition la plus complète que l'on puisse proposer : un composite archéologique est « *un artefact dont l'intégrité repose sur l'association irréversible de matériaux aux propriétés et aux modalités de conservation hétérogènes et parfois incompatibles* ».

Le composite archéologique apparaît ainsi bien comme une notion de restaurateur, qu'il doit apprendre à manier, ce qui peut passer par l'affinage systématique de la définition, sur le modèle de ce que nous venons de proposer.

L'interface du composite : un enjeu pour le restaurateur

Un micro environnement

La compréhension du composite comme un objet particulier et comme un tout indissociable implique aussi une approche descriptive adaptée à sa complexité et à même de signifier les difficultés d'intervention consécutives. Ainsi, puisque la contrainte principale du composite pour le restaurateur est cette association irréversible de diversités chimiques, il nous semble pertinent de changer d'échelle et de réfléchir précisément à la localisation de cette association : l'interface¹. Il s'agit donc de la zone de contact entre les matériaux hétérogènes du composite mais aussi d'un mélange matériel où la fabrication et l'altération se confondent. En effet, la dégradation simultanée des différentes matières fait qu'à cet endroit-là on ne sait plus très bien où commence chacun des matériaux (**fig. 1**). Cela est encore plus flagrant en présence de produits de corrosion du métal qui se diffusent dans le matériau organique et en modifient les propriétés (**fig. 2**). Cela contribue ainsi à rendre difficile la lecture du composite et impossible la séparation des matériaux, faisant de l'interface un véritable enjeu pour le restaurateur.



Figure 1 Fourchette composite : os et fer, après restauration; env. 10 cm, Göteborg, SVK-2015- F249. © Marine Crouzet.

¹ Le choix de ce terme fait directement référence à la description des strates de produits de corrosion sur des objets métalliques définie dans Bertholon, 2000.

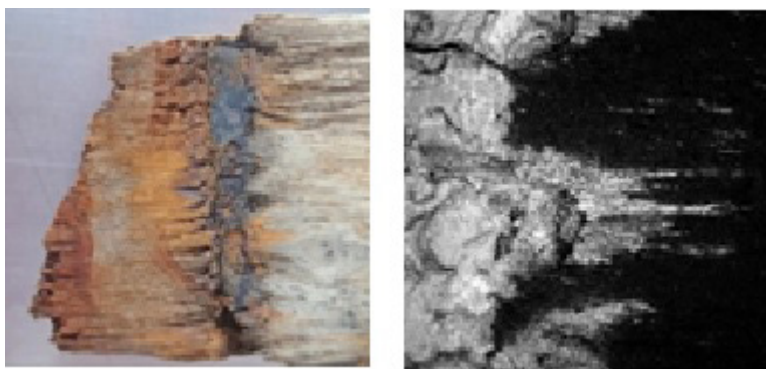


Figure 2 Coupe d'un composite bois-fer : œil nu, MEB x16, RAAR, 2015. © Marine Crouzet.

L'interface d'un objet composite archéologique dégradé serait donc à penser comme un endroit dynamique qui s'apparente chimiquement à un microenvironnement donnant lieu à une micro-taphonomie de l'objet composite. De même que les objets archéologiques évoluent dans leur milieu d'enfouissement, de même chaque partie d'un objet composite évolue par rapport à l'autre partie.

Par conséquent, tout comme la connaissance du contexte est essentielle pour la compréhension des altérations d'un objet archéologique et l'établissement d'un diagnostic pertinent, l'interface doit être prise en compte de façon précise dès la description de l'objet composite. Nous souhaiterions pour cela proposer un vocabulaire descriptif qui rende compte du mode de contact entre les matériaux concernés.

Une zone à documenter

On peut tout d'abord distinguer *l'insertion* de *l'intégration* : il y a insertion lorsque l'un des matériaux a nécessité, au moment de la fabrication, une pénétration dans l'autre par la pression, le vissage ou le façonnage, par exemple. Il en va ainsi de la lame qui s'insère dans le manche du couteau. Il s'agit par conséquent souvent d'un contact très étroit. Au contraire, on entendra par « intégration » une simple association. Il s'agit souvent d'objets indépendants associés pour l'usage – comme un cordage autour d'une poulie – ou pendant l'enfouissement à cause de leurs dégradations, mais qui n'étaient pas assemblés de façon inséparable à l'origine – comme des pièces de monnaie dans une bourse.

Lorsque l'objet composite présente à la fois des signes d'insertion et d'intégration, on proposera alors la notion d'*inclusion*, comme un coffre en fer sur lequel seraient vissés des décors en os : le décor est « intégré » au coffre alors que les vis sont « insérées » dans l'os.

L'interface peut ensuite être décrite plus précisément au moyen d'un vocabulaire qui exprime non plus le contact entre les matériaux du composite mais davantage des propriétés visuelles et tactiles. On peut ainsi décrire l'interface en termes de *netteté*, si elle peut être clairement identifiée ou non (nette/diffuse), de *continuité* tout au long de la zone de contact (continue/discontinue), et d'adhérence s'il s'agit d'une zone plus ou moins mobile (adhérente/non adhérente). On peut ensuite qualifier sa cohérence (simple/multiple), l'uniformité de son aspect (homogène/hétérogène) ou de sa texture (régulière/irrégulière).

Ainsi, sur l'objet représenté figure 1, l'interface est diffuse (produits de corrosion du fer très présents dans l'os), continue (tout autour de l'objet), adhérente (l'ensemble est figé),

simple (un seul faciès de diffusion), homogène (un seul faciès de corrosion) et irrégulière (sels métalliques imprégnés et produits de corrosion volumineux).

Cette prise en compte de l'interface comme zone à part entière de l'objet composite doit enfin s'accompagner d'une documentation adaptée, qui ne soit pas seulement la somme des documentations concernant les matériaux composant l'objet.

Travailler avec les composites : un défi pour le restaurateur

Analyser les composites à partir d'échantillons : quelles interfaces ?

Si la description de l'interface nous semble capitale pour la compréhension des objets composites dans leur spécificité, il est important de l'inclure dans un protocole de recherche sur ces objets. En effet, on trouve très souvent des articles scientifiques sur les composites qui analysent séparément les différents matériaux pour trouver un traitement déjà connu comme efficace pour l'un, qu'il s'agirait d'adapter à l'autre (Guilminot, 2000). Ce n'est que très récemment que des recherches se sont attachées à observer précisément l'interface et à travailler sur d'authentiques composites archéologiques (Chaumat, 2016; Selwyn, 2013; Ternisien, 2013). Toute étude destinée à l'optimisation du traitement des composites archéologiques doit donc tout d'abord définir précisément son objet à partir de cette réflexion sur l'interface. Une analyse pertinente d'un composite doit pouvoir se situer à l'interface, être pensée en termes d'échanges et de cinétiques et envisager les interactions réciproques des matériaux, au même titre que la conservation préventive envisage celles des matériaux avec leur environnement de conservation. Pour cela, il faut donc savoir quelle est précisément la nature du composite étudié ou construit pour les besoins de l'expérience. Nous proposons ainsi quatre catégories d'échantillons composites à partir de la prise en compte de leurs interfaces.

Si les matériaux sont pris séparément puis étudiés dans des milieux différents, alors il n'y aura pas d'interface à étudier et ce ne seront que des composites hypothétiques. En revanche, si les matériaux isolés sont ensuite mis en contact, une interface pourra être possible et le composite sera alors artificiel. S'il est possible d'obtenir un composite à partir de matériaux issus de fouilles, l'échantillon formé présentera des comportements à l'interface qui seront beaucoup plus proches d'un objet archéologique et on aura ainsi un composite archéologique. Enfin, si le composite étudié est lui-même issu de fouilles et présente une interface originelle entre les matériaux qui le constituent, on parlera alors de composite *authentique*. Ce vocabulaire nous semble nécessaire à l'application de la recherche en conservation sur les composites, car ce n'est qu'en fonction de la nature des tests et des échantillons qu'il sera pertinent ou non d'appliquer un traitement sur un authentique composite archéologique à l'interface ancienne.

Traiter les composites : jouer avec l'interface

La variété des traitements appliqués aux objets composites archéologiques pourrait ainsi trouver une cohérence dans la prise en compte de l'interface. En effet, une fois le composite identifié comme unité, il ne reste au restaurateur qu'à reconnaître les limites de ses traitements pour jouer avec l'interface en décidant de l'oublier ou de la contourner. Les publications parlent souvent de priorités entre les différents matériaux constitutifs des objets

composites, et les traitements choisis rendent compte d'un certain sacrifice au service de la préservation d'une seule partie du composite, sacrifice qui peut au final revenir à renoncer aux principes initiaux et à démonter l'objet pour mieux le préserver.

Toutefois, notre recherche nous a aussi montré une série d'adaptations, communément présentées comme des compromis qui réussissent à proposer des traitements partiels, en plusieurs étapes, ou ajustés de façon à respecter l'un et l'autre matériau pour privilégier l'unité du composite. Cette flexibilité des choix démontrée dans le traitement des composites est singulière et n'est que très faiblement documentée dans les fiches normalisées – ce qui rend souvent très difficile la compréhension de certains choix après coup. Pour remédier à cela on pourrait proposer un tableau documentant systématiquement le système de compromis choisi (**fig. 3**).

Sacrifice			Compromis de traitement		
Le plus solide	Le plus sensible	Démontage	Partiel	Plusieurs phases	Global ajusté
Voir méthodes unilatérales de restauration Documenter			Compresses	Fer	Paramètres
			Gels	Os	Outils
			Autres		Procédés

Figure 3 Proposition de tableau descriptif des interventions de restauration des objets composites.

© Marine Crouzet.

Conclusion

La définition du composite archéologique est directement issue d'une approche déontologique de la conservation-restauration, articulée autour du respect de l'intégrité de l'objet. Parler d'objets composites en archéologie, c'est donc à la fois reconnaître à l'objet un statut patrimonial, admettre les limites de la discipline, construite selon des catégories matérielles, mais aussi réaffirmer la nécessité d'un jugement particulier adapté à la spécificité de chaque objet. Parce qu'ils échappent au classement, les objets composites bousculent les cadres de la profession et obligent à maintenir une certaine flexibilité dans les décisions. Si cette flexibilité doit être préservée, il apparaît cependant essentiel d'adopter une méthodologie rigoureuse au service d'une documentation plus précise et d'une meilleure compréhension des phénomènes de dégradation propres aux composites. Nous avons ainsi pu proposer divers éléments de vocabulaire en insistant sur l'importance de la prise en compte de l'interface dans l'ensemble des étapes de description, d'examens ou de traitement des objets composites. C'est en réfléchissant et en travaillant sur l'interface que l'on peut à la fois penser l'objet comme un tout et intervenir précisément sur les matériaux qui le composent. De plus amples recherches sont nécessaires, notamment pour mieux caractériser les réactions chimiques qui s'exercent dans cette zone de contact, mais aussi pour mieux organiser la conservation préventive de ces objets archéologiques particuliers.

Références bibliographiques

Brandi C. (1977), *Teoria del restauro*, Turin, Einaudi, 192 p.

Bertholon R. (2000), *La limite de la surface d'origine des objets archéologiques en métal corrodé* », thèse de doctorat, université Paris I-Panthéon-Sorbonne.

Chaumat G. et al. (2016) « Use of sodium hydrogen sebacate to consolidate composite archaeological artifacts », dans *WOAM 2013, Proceedings of the 12th ICOM group on Wet organic archaeological materials conference*, Istanbul, ICOM CC, p. 161-167.

Deyber D. (2009), « De la fouille au dépôt : guide pour la conservation préventive du mobilier archéologique », dans *Actualité de la conservation-restauration en archéologie et recherches en cours. Bilans et retours sur expérience*, actes des XXIV^e Journées des restaurateurs en archéologie (Montigny-le-Bretonneux, 26-27 mars 2009), Paris, ARAAFU, (coll. Conservation-restauration des biens culturels - Cahier Technique, 18), p. 56.

Guilminot E. (2000), *Action d'un inhibiteur de corrosion du fer en milieu eau - polyéthylène glycol (PEG) 400 lors des traitements des objets archéologiques composites de bois gorgés d'eau / fer*, thèse de doctorat, INP Grenoble.

Rodgers B. (2004), « Archaeological composites », dans Rodgers B. (éd.), *The archaeologist's manual for conservation*, New York, Plenum Publishers, p. 187.

Selwyn L. (2013), « Iron stain removal from archaeological composite artifacts made of wood and iron », *Journal of the Canadian association for conservation*, vol. 38, p. 31-42.

Ternisien V. (2013), *Déchloration des objets archéologiques composites indissociables de fer et de bois issus du milieu marin*, mémoire de master recherche en Conservation-restauration, université Paris 1-Panthéon Sorbonne.

L'auteur

Marine Crouzet conservateur-restaurateur d'objets archéologiques, 203 rue Raymond Losserand, 75014 Paris, marinecrouzet@gmail.com

FAUT-IL DÉCHLORURER LES FERREUX ?

STÉPHANE LEMOINE

Résumé La stabilisation de la corrosion des fers archéologiques demeure une source constante de préoccupation, à en juger par l'abondante littérature produite sur le sujet depuis les années 1970. Dans ce domaine, le respect de normes de conservation préventive est parfois présenté comme l'alternative à de longs traitements de stabilisation. Alors que ces derniers, bien que de mieux en mieux compris, livrent malgré tout des résultats parfois aléatoires, les contraintes engendrées par le seul respect des conditions de conservation s'avèrent, à l'expérience, difficilement tenables sur le long terme. Nous exposons ici la déchloruration par bains de sulfite de sodium alcalin à Arc'Antique telle que nous la pratiquons.

Le « déficit » d'objets archéologiques à base de fer que l'on peut généralement constater dans les musées trouve une explication partielle dans le fait que la corrosion qui se développe au sein de ce métal conduit à lui donner un aspect qui n'a rien de « gracieux ». C'est la raison pour laquelle, depuis leur création au milieu du XIX^e siècle, les sociétés savantes et autres sociétés polymathiques ont généralement dédaigné ce matériau (Verchère de Reffye, 1865); que l'on en juge par la rareté des mentions dans leurs bulletins. On peut également imaginer que ce relatif mépris à l'égard du fer archéologique a été renforcé par une stabilité physico-chimique on ne peut plus aléatoire : les cas de fissuration post-fouille, d'éclatements et de ruine complète sont de nos jours aussi, en effet, plus que fréquents. À cette époque, divers procédés de stabilisation ont été imaginés (Verchère de Reffye, 1865) afin de tenter d'enrayer ces phénomènes de corrosion « active » (trempage dans des vernis, colles, cires puis dans les hydrocarbures) amenant parfois à la totale dislocation de pièces découvertes complètes par ailleurs.

Il fallut attendre les années 1950 pour qu'émerge la notion de stabilisation par extraction des espèces chlorurées, responsables de ces altérations. À cette époque déjà, l'emploi de solutions plus ou moins « bouillantes » d'hydroxyde de sodium pouvait être préconisé (Plenderleith, 1966). Depuis, deux publications « majeures » ont défini les grandes lignes de ce que l'on allait désormais appeler « déchloruration au sulfite alcalin » (North, 1975; Rinuy, 1981). Curieusement, l'utilisation de cette technique semble avoir été géographiquement assez limitée : il semblerait que la Grande-Bretagne y fut longtemps assez réticente – comme à nombre de traitements chimiques par ailleurs – avant de s'y résoudre (Keene, 1985). L'alternative à l'absence de tout traitement oblige dès lors à respecter les « normes » de la conservation préventive, c'est-à-dire en l'espèce : « objet-à-conserver-à-une-HR-inférieure-à-40 % ». L'absence d'humidité atmosphérique ralentit en effet considérablement ce type de corrosion. Or, même les plus farouches adversaires de la « déchloruration » finirent par admettre que la gestion de collections de mobilier ferreux en accroissement permanent rendait très difficile ce respect des normes climatiques. Mentionnons que certains conservent les objets ferreux à une

température de congélation (Kühn, 2010), d'autres encore s'essayent à l'anoxie (Chalvidal, 2015). Et rappelons au passage un fait évident : une totale absence de fer métallique dans les objets, intégralement « minéralisés » donc, rend parfaitement inutile une quelconque stabilisation de la corrosion.

Il est donc généralement admis aujourd'hui que la stabilisation de la corrosion des objets ferreux passe par une extraction des ions chlorure. La technique la plus répandue, parce que la plus abordable aussi, est celle de l'immersion dans des bains successifs de sulfite alcalin, outre le développement d'autres techniques d'extraction des espèces chlorurées (bains d'autre nature, plasmas, réduction thermique, etc.) (Drews, 2013). De récents travaux (Kergourlay, 2011; Guilminot, 2012) ont apporté des éclaircissements sur les mécanismes de transformation et d'extraction des espèces chlorurées dans ce milieu – nous n'entrerons pas ici dans les détails, mais un pH très basique déstabilise les espèces chlorurées. Il y a quelques années, a été proposée une diminution des concentrations (Wang, 2008), passant à 0,05 M pour la soude et à 0,1 M pour le sulfite de sodium – elles étaient initialement données à 0,5 M – pour un résultat identique. En fait, il est essentiel de conserver (sur la durée d'un bain de traitement qui excède rarement deux mois) un pH élevé, supérieur à une valeur de 13,5, afin de placer le fer dans un domaine d'immunité et de l'y maintenir (Pelé, 2010). En effet, il est connu que l'hydroxyde de sodium tend naturellement à se carbonater sous l'effet du dioxyde de carbone atmosphérique; certains auteurs l'ont (re)découvert récemment ! (Sullivan, 2013). D'autre part, la quantité de sulfite de sodium à ajouter pour éviter la formation de goéthite (α -FeOOH) doit suffire à neutraliser les quelques dizaines de milligrammes par litre d'oxygène dissout présents dans l'eau utilisée (nous utilisons de l'eau osmosée). Un ajout plus « massif » permettra d'éviter une ré-oxygénation progressive par le dioxygène de l'atmosphère et, par là-même, son oxydation. Si la concentration de la soude doit être maintenue aux alentours de 0,5 M, celle du sulfite de sodium peut effectivement être abaissée à 0,1 M. Pour ce dernier, des tests sont encore nécessaires.

Par ce procédé, Arc'Antique a conduit depuis 1990 près de deux cents traitements dans des cuves de capacité comprise entre cinq et trois cents litres, pour plus de deux mille cinq cents objets ou lots d'objets (un seul lot peut comporter jusqu'à mille objets). Il n'empêche que la durée de ce traitement, même avec agitation du bain et chauffage, demeure assez longue, puisque le procédé ne repose que sur la transformation des espèces chlorurées et leur mise en solution par diffusion. La durée du traitement est ainsi rarement inférieure à quatre mois (fig. 1).

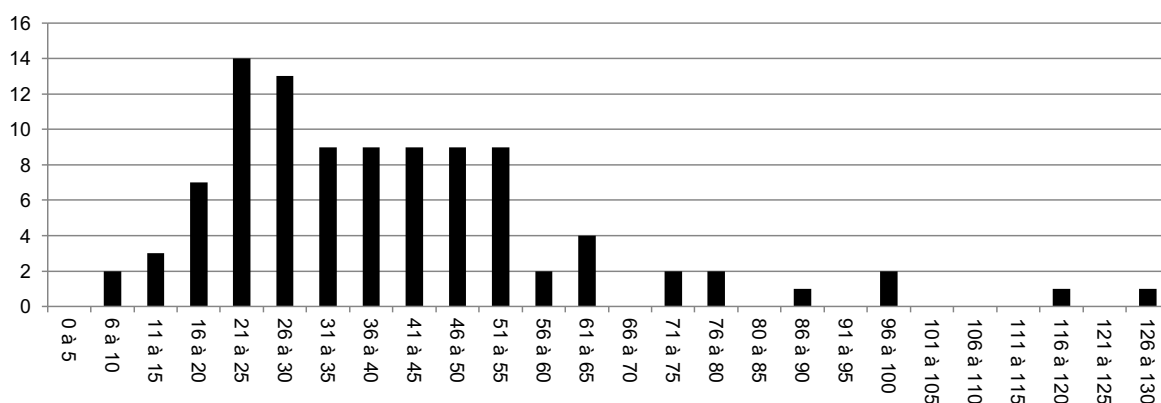


Figure 1 Durée moyenne des bains (en semaines). © S. Lemoine.

Le suivi hebdomadaire des bains, qui consiste à quantifier les ions chlorure passés en solution par potentiométrie argentimétrique, montre que la cinétique d'extraction débute rapidement, puis tend à se stabiliser au fil du temps. Cinq bains successifs sont généralement nécessaires. Les changements sont suggérés par une relative stagnation apparente des quantités d'ions chlorure extraits au cours du temps. La question essentielle est de savoir à quand peut être estimée la fin du traitement. Des solutions ont pourtant été recherchées, mais elles ont abouti à évoquer une réduction des temps de traitement (Loeper-Attia, 1997). Considérant la qualité de l'eau osmosée produite, celle des composés chimiques entrant dans la composition du bain et les erreurs liées à la technique de dosage utilisée, une valeur limite de concentration maximale en ions chlorure de 5 mg/l est généralement admise. Difficulté supplémentaire et qui n'est pas sans importance : cette valeur est bien évidemment toute relative, car elle dépend du rapport « volume de solution/volume d'objet » et, à volume d'objets égal, moins il y a de solution et meilleur est le suivi (**fig. 2, 3**). Des calculs rétrospectifs montrent que l'on se situe généralement dans une fourchette comprise entre un quart et un litre de solution par objet (à titre de comparaison, le traitement d'un seul canon peut nécessiter un bain de quatre mètres cubes).

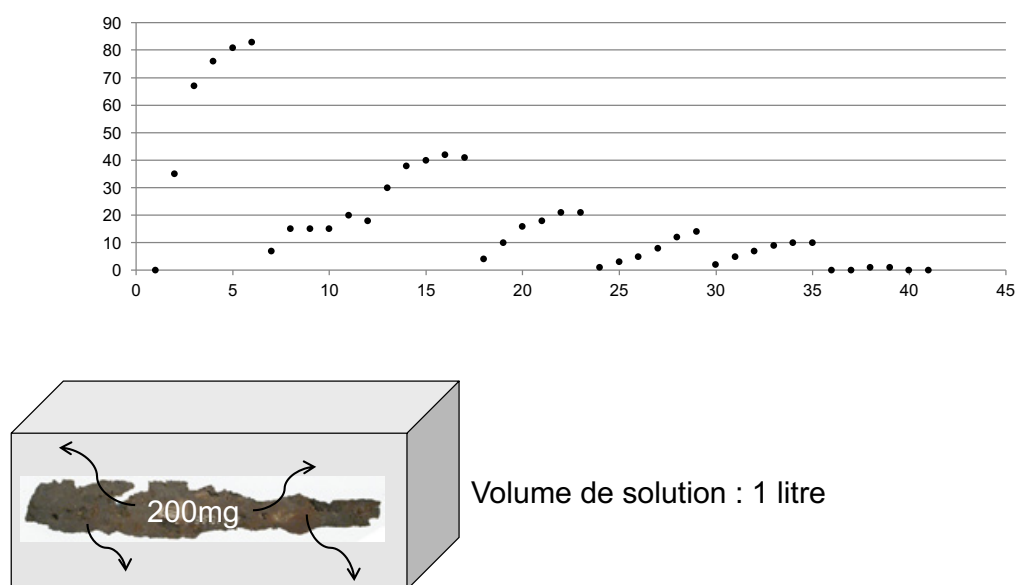


Figure 2 Effet du volume de solution dans la mesure de la concentration : la valeur de concentration cumulée théorique atteinte est de 200 mg/l pour un volume de solution d'un 1 litre. La concentration des ions chlorure (mg/l) est exprimée en fonction du temps (semaines). © S. Lemoine.

On pourra retenir que plus le volume de solution de traitement est réduit, meilleure est la détermination des concentrations en ions chlorure, notamment pour de faibles gradients. D'autre part, les erreurs de valeurs constatées dans les dosages importent en fait assez peu, puisque c'est l'évolution générale de la concentration que l'on évalue (valeurs relatives). En revanche, en fin de traitement, l'erreur la plus faible est recherchée, ce qui est facilité par le procédé de dosage. Quels que soient les efforts consentis, il est bien évident que nous ignorons totalement la quantité résiduelle d'ions chlorure demeurant au sein des objets (Rimmer, 2012) et, dans ce cas, sommes incapables d'apprécier s'ils suffiront à produire une éventuelle reprise de corrosion (Beaudouin, 1997; Rimmer 2013).

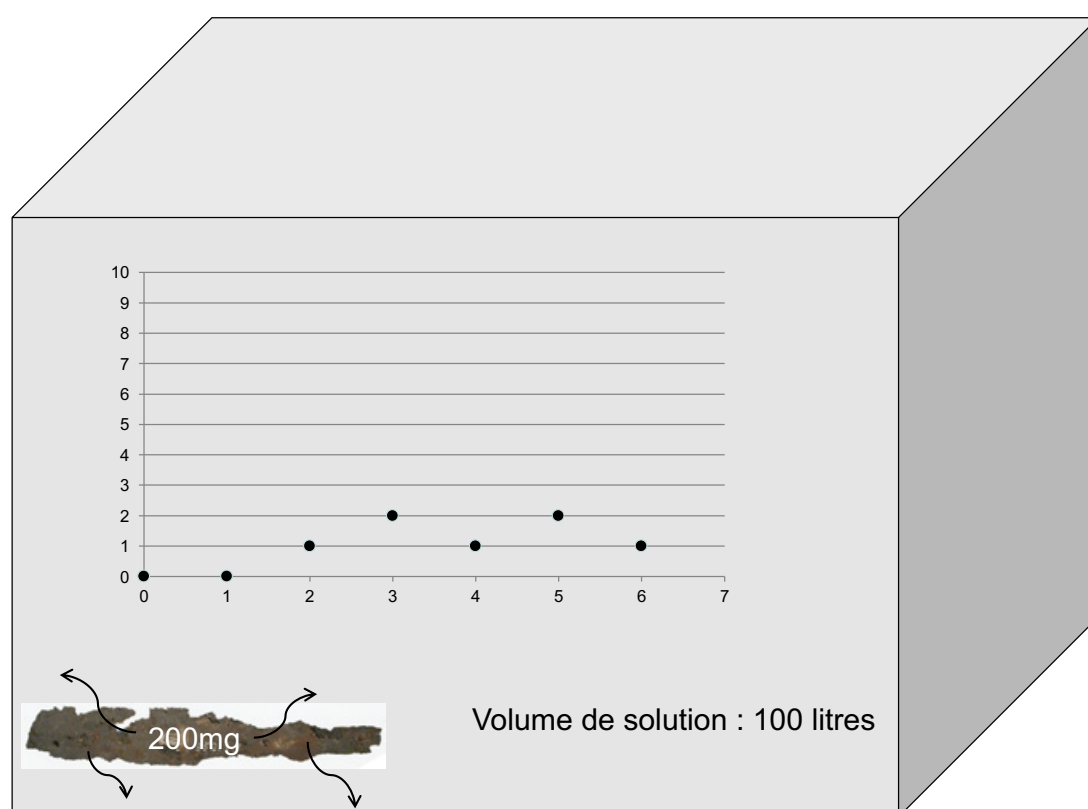


Figure 3 Effet du volume de solution dans la mesure de la concentration : la valeur de concentration cumulée théorique atteinte est de 2 mg/l pour un volume de solution de 100 litres. La concentration des ions chlorure (mg/l) est exprimée en fonction du temps (semaines). © S. Lemoine.

Conclusion

L'absence de stabilisation de la corrosion, couplée à un contrôle climatique qui s'avère bien souvent plus qu'erratique sur le long terme ne saura conduire qu'à une aberrante « sélection naturelle » des objets archéologiques ferreux; fatalisme assez inadmissible en matière de préservation des objets mobiliers du patrimoine. Bien que des progrès significatifs dans la compréhension des mécanismes de dégradation aient été faits depuis une dizaine d'années, il n'en demeure pas moins qu'aucune technique prédictive en matière de corrosion post-fouille n'a aujourd'hui vu le jour, mais certains tentent de mettre au point des techniques d'évaluation. Dans un tel contexte de méconnaissance, il est donc conseillé de déchlorurer les objets archéologiques ferreux et de les conserver à de faibles pourcentages d'humidité relative.

Références bibliographiques

Beaudouin A. et al. (1997), « Corrosion d'objets archéologiques en fer après déchloruration par la méthode au sulfite alcalin », *Metal 95, Proceedings of the international conference on metals conservation*, Londres, James & James, p. 170-177.

Chalvidal C., Loeper-Attia M.-A., Robbiola L. (2015), « Effet des absorbeurs d'oxygène sur la conservation des alliages de base cuivre archéologiques. Nouveau développement pour le stockage des objets en réserve », dans *Restaurer l'ordinaire, exposer l'extraordinaire : du site au musée*, actes des XXVIII^e Journées des restaurateurs en archéologie, (musée départemental de l'Arles antique, Arles, 16-17 octobre 2014), (coll. Conservation-restauration des biens culturels - Cahier technique, 22), Paris, ARAAFU, p. 49-54.

Drews M. J., Gonzalez-Pereyra et al. (2013), « The application of subcritical fluids for the stabilization of marine archaeological iron », *Studies in Conservation*, n° 58 (4), p. 314-325.

Guilminot E. et al. (2012), « Influence of crucial parameters on the dechlorination treatments of ferrous objects of seawater », *Studies in Conservation*, n° 57 (4), p. 227-236.

Keene S., Orton C. (1985), « Stability of treated archaeological iron : an assessment », *Studies in Conservation*, 30 (3), p. 136-142.

Kergourlay F. et al. (2011), « Mechanisms of the dechlorination of iron archaeological artefacts extracted from seawater », *Corrosion science*, n° 53 (8), p. 2474-2483.

Kühn C., Eggert G. (2011), « Keep cool? Deep-freeze storage of archaeological iron. », dans *Proceedings of Metal 2010*, Clemson University, Clemson, South Carolina, p. 32-38.

Loeper-Attia M. A., Weber W. (1997), « Déchloruration d'objets archéologiques en fer par la méthode du sulfite alcalin », *Metal 95, Proceedings of the international conference on Metals Conservation*, Londres, James & James, p. 162-166.

North N. A., Pearson C. (1978), « Methods for treating marine iron », *ICOM Committee for conservation, 5th triennial meeting*, ICOM, Zagreb, 78/23/3, p. 1-10.

Pelé C., Lemoine S., Guilminot E. (2010), « Evolution of pH in the solutions of dechlorination », dans Gerhard Eggert and Britta Schmutzler (éd.) *Archaeological iron, Conservation colloquium 2010*, Stuttgart http://www.iron-colloquium.abk-stuttgart.de/Documents/Tagungsband_session_4.pdf

Plenderleith H. J. (1966), *La conservation des antiquités et des œuvres d'art*, P. Philippot (trad.), Paris, Eyrolles, p. 297.

Rimmer M., Watkinson D., Wang Q. (2013), « The impact of chloride desalination on the corrosion rate of archaeological iron », *Studies in Conservation*, n° 58 (4), p. 326-337.

Rimmer M., Watkinson D., Wang Q. (2012), « The efficiency of chloride extraction from archaeological iron objects using deoxygenated alkaline solutions », *Studies in Conservation*, n° 57 (1), p. 29-41.

Rinuy A., Schweizer F. (1981), « Méthodes de conservation d'objets de fouilles en fer », *Studies in Conservation*, n° 26 (1), p. 29-41.

Sullivan K., Ross McKinnon W., Selwyn L. (2013), « Carbon dioxide absorption alkaline treatment solutions for archaeological iron », *Proceedings of Metal 2013*, Ed. Historic Scotland, p. 77-84.

Verchère de Reffye (1865), « Procédés pour le nettoyage et la conservation des objets en fer », *Revue archéologique*, n° 1, p. 392-397.

Wang Q., Dove S. et al. (2008), « Evaluation of methods of chlorine ion concentration determination and effectiveness of desalination treatments using sodium hydroxide and alkaline sulphite solutions », *The conservator*, n° 31, p. 65-74.

L'auteur

Stéphane Lemoine conservateur-restaurateur, GPLA-Laboratoire Arc'Antique, 26, rue de la Haute-Forêt, 44300 Nantes, Stephane.LEMOINE@loire-atlantique.fr.

ANALYSES CHIMIQUES ORGANIQUES ET ARCHÉOLOGIE : COMMENT CONCILIER LES DEUX ?

NICOLAS GARNIER

Résumé Les fouilles archéologiques mettent au jour, outre des objets en céramique, en pierre ou en métal, toute une gamme de flacons, vaisselles, urnes en verre moulé ou soufflé. Si longtemps on s'est intéressé uniquement à l'esthétique et à la technicité des objets, des recherches portant sur leur utilisation et leur fonction ont ouvert de nouvelles voies d'étude qui permettent de documenter et comprendre l'objet dans son contexte : pourquoi a-t-il été créé ? Comment a-t-il été utilisé, une seule ou plusieurs fois ? A-t-il été déposé vide dans la tombe ? Qu'a-t-il contenu et quelle est la valeur symbolique ou non de son contenu ? Autant de questions occultées jusqu'alors, que les nouvelles techniques d'analyse chimique permettent aujourd'hui d'aborder.

Mots-clés contenu organique, analyses chimiques organiques, parfums

Quels objets étudier ?

Choix des objets

L'analyse du contenu d'un objet ou de ses matériaux constitutifs découle toujours d'une problématique archéologique et d'une demande formulée soit par l'archéologue, soit par le restaurateur ou le conservateur. L'objet doit être documenté au mieux. Les informations sur son contexte d'enfouissement et de découverte obligent parfois à écarter des objets issus de milieux trop pollués. En effet, nous recherchons des traces infimes de matière organique encore préservée dans les vases. Un milieu pollué par des matières plastiques, par un humus très riche, par des activités industrielles récentes, se caractérise par un sédiment riche en marqueurs plastiques, en marqueurs de décomposition de la végétation, etc. Les marqueurs migrent par diffusion naturelle, viennent enrichir tous les objets contenus dans le sol et peuvent s'accumuler dans les objets en matériaux non poreux (verre, métal, pierre). À l'inverse, un milieu parcouru continûment ou régulièrement par des eaux entraîne la migration des marqueurs initialement contenus dans les vases vers le sédiment, et donc la perte progressive et définitive des marqueurs recherchés.

Le choix du matériel est aussi guidé par l'état physique des objets : si l'on peut analyser le contenu de quasiment tous les objets en céramique du fait de la porosité des parois, les vases en verre totalement fragmentés ou les objets en métal dont le fond a été perdu suite à la corrosion peuvent être écartés : les contenus se sont depuis longtemps perdus et ont diffusé

dans le milieu environnant. Idéalement, les vases entiers sont ceux garantissant la meilleure conservation et protection du contenu originel et des pollutions moindres.

Les vases peuvent être issus de fouilles récentes ou anciennes. Plus le prélèvement est réalisé tôt, plus l'introduction de pollutions post-fouilles sera limitée. Cependant, des objets conservés dans des musées même pendant plusieurs années peuvent encore être analysés. Un critère incontournable est la restauration : tout objet restauré ne peut plus être analysé. En effet, pour le verre et le métal, les résidus du contenu sont infimes et déposés sur les parois. Le lavage, l'enlèvement des dépôts et, surtout, l'application de vernis protecteur sont destructeurs pour toute l'information chimique. Pour les céramiques, étant donné que les témoins moléculaires sont imprégnés au cœur de la céramique, la situation est moins critique. Cependant, un objet imprégné de consolidant ou largement recollé ne pourra plus être analysé. Aussi, l'application de scotchs pendant la phase de remontage, le contact avec des matériaux polymères (Plastiline® par exemple) laisse des empreintes moléculaires qui peuvent recouvrir les traces de contenu recherchées. Le nettoyage à l'aide de solvants, mêmes dilués à l'eau, est tout aussi néfaste : d'une part les solvants repoussent les résidus moléculaires plus profondément dans les parois de la céramique, mais surtout les solvants utilisés, de qualité technique, sont de mauvaise qualité et imbibent les tessons de molécules modernes nombreuses et concentrées.

Afin de ne pas perdre l'information chimique à tout jamais, il est indispensable de prévoir le prélèvement en vue de l'analyse organique de contenu avant même tout travail de restauration de l'objet. L'archéologue doit définir les problématiques liées à l'objet avant toute restauration. Pour déterminer le contenu, le vase doit être prélevé avant restauration. Pour les céramiques, un tesson du fond du vase peut être mis de côté et le reste du vase nettoyé et remonté. Pour le verre, la pierre et le métal, tous les prélèvements doivent être faits en amont, quitte à être conservés plusieurs mois avant d'être analysés.

La concertation entre l'archéologue, le restaurateur et le chimiste garantit non seulement la qualité de l'étude du contenu, mais aussi la sauvegarde de l'objet et de l'information chimique invisible qu'il contient.

Prélèvement pour l'analyse de contenu

Le cas le plus simple est celui des objets en céramique ou en pierre poreuse : la détermination du contenu nécessite de prélever quelques milligrammes de parois qui ont été en contact avec le contenu. Après avoir éliminé le sédiment, une surface de 1 à 5 cm² est fraisée sur 1 mm de profondeur environ à l'aide d'une micro-perceuse équipée d'un foret à pointe diamant. La poudre obtenue est recueillie sur une feuille de papier aluminium qui est repliée et transmise au laboratoire. La poudre ne doit être en contact avec aucun matériau organique : ni doigt, ni pinceau, ni spatule en bois ou plastique... La quantité de matière organique absorbée dans la poudre (quelques microgrammes) est très facilement polluée au moindre contact.

Pour le verre, le métal et les pierres non poreuses, les traces moléculaires du contenu ne sont pas imprégnées mais déposées en surface et totalement invisibles. Le prélèvement doit être fait par l'analyste lui-même, en dégageant l'objet puis en rinçant les parois avec des solvants de haute pureté (qualité « pour analyses » ; protocole décrit dans Garnier, 2015). L'utilisation de tout autre solvant ne conduit qu'à une pollution irrémédiable de l'objet. Cette opération est délicate et ne peut être confiée au restaurateur. Pour la pierre et le métal, l'objet peut ensuite être nettoyé et consolidé. Pour le verre, il est préférable de stabiliser l'objet avec un

dernier rinçage à l'éthanol/eau (1 : 1 : v/v) et de laisser l'objet dans un récipient clos, avec un coton imbibé de ce mélange pour stabiliser l'atmosphère jusqu'à restauration.

Analyses physico-chimiques

Les traces des contenus, mais aussi des libations effectuées dans le cadre de rituels sur les objets, sont invisibles et imprégnées dans les parois poreuses des céramiques, ou déposées sous forme de film moléculaire très fin sur les parois internes du verre, du métal et de la pierre. L'analyse des résidus organiques est donc particulièrement délicate et demande un grand savoir-faire mais aussi des protocoles de préparation des échantillons et d'analyse précis et adaptés. Ainsi, elle ne doit être confiée qu'à des analystes spécialisés dans l'étude des matériaux organiques archéologiques, et non à des laboratoires traitant des matériaux actuels ou même à des physico-chimistes spécialisés dans les matériaux minéraux anciens. L'analyse se vouera rapidement à un échec et à de fausses conclusions, comme l'absence de matière organique conservée ou d'un contenu originel dans des vases à parfums, pourtant issus de contextes exceptionnels et malgré la conservation de résidus invisibles.

Il n'existe pas de méthodologie générale valable pour tout objet. L'analyste chimiste se doit de s'adapter à la problématique exposée par l'archéologue, par rapport à l'objet et à son contexte.

Si des résidus solides sont présents, des analyses minérales sont à envisager en amont : l'analyse par spectrométrie de fluorescence X (XRF), soit à pression atmosphérique soit sur micro-prélèvement au microscope électronique à balayage (MEB-EDX), permet de définir la composition élémentaire du dépôt, *i.e.* sa composition en éléments chimiques. Une seconde analyse par spectrométrie de diffraction des rayons X (XRD) ou par micro-spectrométrie Raman donne un spectre de diffraction ou d'émission Raman caractéristique des structures cristallisées. Ainsi, les minéraux peuvent être identifiés. C'est le cas le plus fréquent des dépôts blanchâtres de carbonate de calcium qui donnent un pic important de calcium par analyse XRF, et les raies de diffraction ou d'émission Raman propres à l'aragonite ou à la calcite. Ces techniques permettent aussi de détecter des adjuvants, comme des pigments, ou d'autres charges pour des préparations cosmétiques ou médicinales : céruse, litharge, gypse...

Tous les échantillons sont soumis à l'analyse organique. De nombreuses approches, développées depuis une quarantaine d'années, fournissent des renseignements plus ou moins fiables et pertinents. Étant donné que la matière organique conservée dans les vases en verre consiste en d'infimes traces (souvent quelques microgrammes), seules des techniques d'analyse de pointe devraient être utilisées. Les tests chimiques comme les spots tests et les tests colorimétriques, les techniques spectrales comme la spectrométrie infrarouge doivent être écartés au profit de techniques beaucoup plus sensibles, sélectives et qui permettent une identification sûre des biomarqueurs et des matériaux biologiques. Il s'agit de méthodes séparatives (la chromatographie, en phase gazeuse ou liquide, GC ou LC), couplées à des méthodes d'analyse structurale comme la spectrométrie de masse (MS). La première permet de séparer les molécules d'un mélange complexe, la seconde permet l'identification sûre de chaque molécule séparée grâce à son spectre de masse. Suivant les familles chimiques de marqueurs recherchés, on mettra en œuvre la GC-MS pour les marqueurs volatils ou peu volatils (acides gras, terpènes, stérols, sucres...), et la LC-MS pour les marqueurs non volatils (triglycérides, cécides, colorants naturels...).

Principe d'identification de biomatériaux anciens

La matière organique est particulièrement complexe, riche de millions de molécules organiques. La description de la composition chimique (ou structure moléculaire) d'un matériau biologique est le domaine de recherches propre à la phytochimie et à la pharmacognosie. La composition chimique des principaux matériaux identifiés en contexte archéologique peut être schématisée en marqueurs majoritaires et minoritaires (**tableau 1**). Identifier tous les composés chimiques (les biomarqueurs) d'un matériau biologique représente un réel défi pour les chimistes, car même pour les matériaux les plus simples, comme les huiles, plusieurs sous-familles chimiques coexistent à des concentrations très différentes. Leurs constituants ont des structures chimiques et des poids moléculaires très différents et nécessitent donc des techniques d'analyse voire des protocoles d'extraction et de purification différents. On se limite donc souvent à des empreintes globales ou à des descriptions partielles, en choisissant les marqueurs les plus pertinents.

L'interprétation des résultats chimiques aboutit à l'identification d'espèces animales et végétales, grâce à l'information chimique contenue dans les bio-marqueurs, qui peuvent être plus ou moins pertinents, ubiquistes, génériques ou spécifiques (Poynter, Eglinton, 1991). Pour être pertinent, un biomarqueur doit être distribué dans une faible proportion de la biosphère et être résistant vis-à-vis des processus de dégradation post-dépositionnels. La définition d'associations de bio-marqueurs permet de mieux cibler l'identification et de remonter aux matériaux originels, si leur état de dégradation le permet. Mais les compositions chimiques d'un matériau ancien et de son homologue moderne diffèrent ; au cours de l'enfouissement, la matière organique subit plusieurs types de dégradations : physiques liées à la perte de matière par dissolution et diffusion des molécules dans le milieu, chimiques liées à la réactivité des marqueurs, et biochimiques liées à l'activité des micro-organismes du sol (Garnier, 2003, 2007, 2015). Aussi, les résidus conservés dans les objets en verre sont d'autant plus difficiles à étudier qu'ils ne sont pas imprégnés mais déposés sur les parois internes des récipients, et soumis à des altérations physiques, chimiques et biologiques. Il est donc vivement recommandé de confier les échantillons organiques anciens à des laboratoires spécialisés dans l'étude de ces matériaux, qui disposent non seulement de protocoles de prélèvement et de préparation des échantillons adaptés à ce type d'objets, mais aussi d'un savoir-faire pour interpréter les données en fonction des contextes et de l'état de dégradation de la matière.

Quelques exemples d'analyse organique

Les derniers développements technologiques et méthodologiques permettent d'aller de plus en plus loin dans la sensibilité des analyses, mais aussi la précision des identifications par les marqueurs moléculaires. Nombreuses sont aujourd'hui les études publiées. Nous donnons dans les deux tableaux suivants (**tableaux 2 et 3**) quelques exemples pour lesquels nous avons obtenu des résultats intéressants au laboratoire, couvrant un spectre large de contextes et de problématiques.

Tableau 1 Composition en familles chimiques des principaux matériaux biologiques identifiés en contexte archéologique. Les concentrations sont schématiquement représentées par + (composés mineurs) à +++ (composés majeurs).

Tableau 2 Macro-restes et résidus visibles

Aspect du macro-reste	Objet	Exemple de problématique	Prélèvement	Exemples de résultats
Résineux?	Agrégats individualisés	Nature du matériau	Fragment (1-10 mg)	Identification de résines de conifères, de ciste, de brai de bouleau...
Encroûtements, « caramels » alimentaires, dépôts visibles	Sur les parois de tout objet (céramique, pierre, verre, métal, structures)	Résidu comme témoignage d'un contenu : nature?	Fragment du résidu (1-10 mg)	Identification de matières grasses animales/végétales, chauffées ou non...

Tableau 3 Résidus invisibles.

Matériau de l'objet	Objet	Exemple de problématique	Prélèvement	Exemples de résultats
Pierre	Galets de foyers à pierre chauffés	Le galet a-t-il servi à la cuisson d'aliments? lesquels?	Imprégnation et dépôts moléculaires sur les parois	Identification de corps gras animaux chauffés, végétaux...
Pierre	Cippes, pierres votives, tables à offrandes	Libations effectuées sur les pierres?	Imprégnations des parois	Détection de libations de parfums, de vin...
Pierre / métal	Boîtes à cosmétique	Contenu de la boîte?	Dépôts moléculaires sur les parois (même si rien n'est visible)	Détection de préparations à base de corps gras, cires, résines...
Métal	Vases votifs à verser, à boire	Contenu des vases?	Dépôts moléculaires sur les parois (même si rien n'est visible et le métal corrodé)	Identification de contenus variés : vin blanc et rouge, huiles, préparations culinaires...
Verre	Balsamares, biberons, gobelets, bouteilles...	Contenu de l'objet?	Dépôts moléculaires sur les parois (même si rien n'est visible)	Identification de contenus variés : huiles ou graisses parfumées, préparations médicinales à base de vin et de plantes...
Céramique	Toute forme fermée ou ouverte	Parois internes : contenu de l'objet?	Imprégnations moléculaires invisibles des parois poreuses	Identification de contenus variés et successifs : alimentaire, résine/ poix/encens, vin, préparations à base de plantes...
		Parois externes : libations en contexte funéraire?		Détection de coulures de vin blanc/rouge

Conclusion

L'étude du contenu originel des objets, qu'ils soient poreux (céramique, pierre) ou non poreux (métal, verre), est une approche récente désormais possible grâce aux développements technologiques, notamment dans le domaine de la chromatographie et de la spectrométrie de masse. Ces deux techniques ont largement détrôné les techniques plus abordables, rapides et moins coûteuses, telle la spectrométrie infrarouge. L'information obtenue est désormais fiable et, surtout, elle peut être obtenue à partir de microtraces de l'ordre du microgramme de matière organique conservée. Cependant, les analyses doivent être envisagées et, surtout, le prélèvement doit être anticipé avant toute action de restauration qui, si elle permet de nettoyer, consolider, protéger et mettre en valeur l'esthétique de l'objet, détruit à tout jamais l'information chimique invisible qui traduit toutes les phases d'utilisation de l'objet.

Références bibliographiques

- Argant J., Boucher Ch., Frère D., Garnier N., Gillet B., Hänni C., Lacroix S., Leroy-Langelin E., Louis E.** (2012), « De la fouille au laboratoire : analyses et interprétations des contenus de céramiques et verres archéologiques », *Revue archéologique du Nord*, n° 17, (hors-série coll. Art et archéologie), p. 479-504.
- Berthelot M.** (1877), « Nouvelle note sur un liquide renfermé dans un vase de verre très-ancien », *Revue archéologique*, nouvelle série, n° 34, p. 394-398.
- Bontrond R., Bouquin D., Cabart H., Garnier N.** (2013), « Deux objets originaux dans l'analyse des pratiques funéraires du site protohistorique et antique de Bezannes - Le Haut Torchant (Marne) », actes du Congrès de l'AFAV (Bordeaux, 2012), *Bulletin de l'AFAV*, 2013, p. 26-28.
- Formenti F., Ruby A.** (1986), « Analyse de restes organiques associés aux offrandes dans les nécropoles de Saint-Paul-Trois-Châteaux et de Lyon », dans *Nécropoles à incinération du Haut-Empire*, table ronde (Lyon, 1986). Rapports archéologiques préliminaires de la région Rhône-Alpes, p. 103-104.
- Frère D., Hugot L.** (éd.). (2012), *Les huiles parfumées en Méditerranée occidentale et en Gaule (VIII^e s. av.-VIII^e s. apr. J.-C.)*, Rennes, Presses universitaires de Rennes, (coll. Du Centre Jean Bérard n° 38, Archéologie de l'artisanat antique n° 6).
- Frère D., Dodinet E., Garnier N.** (2013), « Analyse de contenus organiques et interprétations archéologiques : l'exemple du programme Perhamo. L'étude interdisciplinaire des parfums anciens au prisme de l'archéologie, la chimie et la botanique : l'exemple de vases à parfums phéniciens (Sardaigne, VI^e-IV^e s. av. J.-C.) », *Archéosciences, revue d'Archéométrie*, n° 36, p. 47-60.
- Garnier N.** (2003), *Analyse structurale de matériaux organiques conservés dans des céramiques antiques. Apports de la chromatographie et de la spectrométrie de masse*, thèse de doctorat de Chimie, université Pierre et Marie Curie (Paris VI), 405 p.
- Garnier N.** (2007), « Analyse de résidus organiques conservés dans des amphores : un état de la question », dans *LRCW2. Late roman coarse wares, cooking wares and amphorae in the Mediterranean : archaeology and archaeometry I*, Oxford, Archaeopress, (coll. BAR international series, 1662), p. 39-58.
- Garnier N., Silvino T., Bernal-Casasola D.** (2011), « L'identification du contenu des amphores : huile, conserves de poissons et poissonnage », dans *Actes du congrès de la SFECAG*, Arles, SFECAG, p. 397-416.
- Garnier N., Dodinet E.** (2013), « Une offrande de ciste dans une tombe carthaginoise (VI^e-V^e s. av. J.-C.). Une approche interdisciplinaire alliant archéo-ethnobotanique et chimie organique analytique », *Archéosciences, revue d'Archéométrie*, n° 37, 2013, p. 51-66.
- Garnier N.** (2015), « À la recherche du contenu des objets archéologiques en verre par les analyses chimiques », *Bulletin de l'AFAV*, 2015, p. 131-139.
- Garnier N.** (2017), « L'apport des analyses chimiques organiques à la caractérisation des structures agricoles : le cas des installations oléicoles ou vinicoles et des espaces de stabulation », *Actes du colloque de l'AGER* (Clermont-Ferrand, 2014), *Aquitania* (Suppl. n° 38).

Pédoussaut L., Vial J., Garnier N. (2014), « Les balsamiques du site de Solférino : un ensemble de la seconde moitié du 1^{er} siècle à Narbonne (Aude) », *Bulletin de l'AFAV*, p. 20-23.

Poynter J., Eglinton G. (1991), « The biomarker concept : strenghts and wealths », *Fresenius J. Anal. Chem.* n° 339, 1991, p. 725-731.

Ribechini E., Modugno F., Baraldi C., Baraldi P., Colombini M.P. (2008), « An integrated analytical approach for characterizing an organic residue from an archaeological glass bottle recovered in Pompeii (Naples, Italy) », *Talanta*, vol. 74 (n° 4), p. 555-561.

L'auteur

Nicolas Garnier chercheur associé à AOROC - ENS Ulm CNRS UMR 8546, SAS Laboratoire Nicolas Garnier – LNG, 32 rue de la Porte Robin, 63270 Vic-le-Comte, labo.nicolasgarnier@free.fr

LE « PROBLÈME » DU TEXTILE ARCHÉOLOGIQUE : LE POINT DE VUE D'UNE ARCHÉOLOGUE

DELPHINE HENRI

Résumé Les restes textiles et, d'une manière générale, les restes organiques découverts lors d'une fouille posent une multitude de contraintes techniques et de questionnements à l'archéologue. Qu'en faire? À qui les confier? Quelles informations peuvent-ils apporter? À quel prix? L'auteur se propose d'ouvrir le débat, principalement sur la deuxième question : qui, de l'archéologue spécialiste ou du restaurateur, doit avoir la primeur de l'objet? Ledit débat se conclut sur l'importance de l'interdisciplinarité, mais son apport reste l'intégralité des arguments en faveur de l'une ou l'autre des positions initiales.

Des textiles... fréquents

Les textiles sont très fréquents parmi les restes archéologiques; bien plus fréquents que la plupart des archéologues ne l'imaginent sur le terrain. En effet, les cas les plus évidents de conservation sont également les moins fréquents.

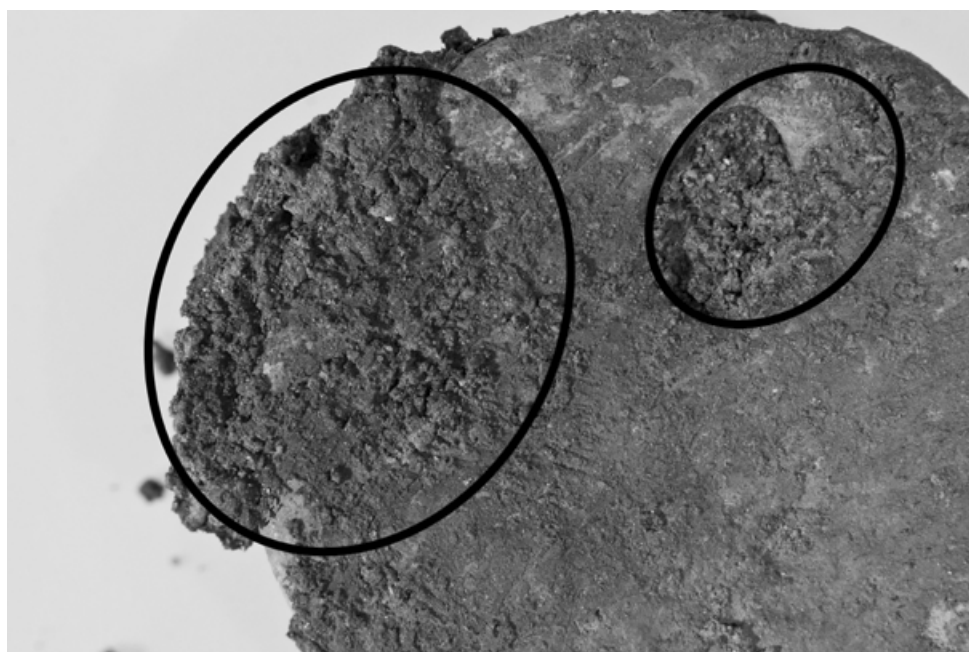
En premier lieu, le terme « textile » employé seul renvoie dans l'imaginaire collectif au textile récent; il est visualisé sous une forme organique. En effet, sa nature est toujours organique (par opposition aux cas présentés ci-après). La conservation est permise par une sécheresse, un froid ou une humidité extrême (pour davantage de détails voir Moulhérat, 2001). Ils sont relativement peu fréquents (**fig. 1**).



Les autres cas de conservation ne sont plus organiques : le textile est altéré. Deux exemples assez rares sont l’empreinte du textile dans un matériau ductile (plâtre, argile, ...) ou la forme carbonisée.

L’écrasante majorité des textiles archéologiques ont une forme minéralisée, par l’action de sels minéraux (calcite, ...) ou des sels de corrosion métalliques (pour le détail du processus de minéralisation, voir Moulhérat, 2001).

Les petites dimensions des éléments conservés et les sédiments les recouvrant les rendent également souvent délicats à reconnaître; tout semble donc concourir à la disparition des textiles archéologiques par la simple ignorance de leur existence (**fig. 2**). Il est donc heureux que l’attention et l’habitude permettent d’en identifier la présence; de récentes expériences personnelles montrent que dans le cas de mobilier funéraire le taux de présence de textiles au contact d’un élément métallique dépasse les 99 %...



En cas de découverte sur la fouille : questionnements du responsable d’opération

Les restes textiles et, d’une manière générale, les restes organiques découverts lors d’une fouille posent une multitude de contraintes techniques et de questionnements à l’archéologue. Qu’en faire? À qui les confier? Quelles informations peuvent-ils apporter? À quel prix?

La réponse traditionnelle était de faire effectuer le prélèvement par un restaurateur, en présence d’un spécialiste textile qui enregistrera les informations relatives à la localisation puis de confier rapidement les textiles à un restaurateur pour la stabilisation. Ou faire au mieux avec les moyens du bord, c’est-à-dire de l’enregistrer comme le reste du mobilier (localisation en x, y, z dans la structure) en documentant la face d’apparition du textile. De ne pas hésiter à filmer l’objet en place et le prélèvement (avec une caméra, un appareil photo, etc.) et de le conserver à l’abri de la lumière et des variations de température et d’humidité puis de prendre rendez-vous avec un spécialiste (pour l’étude) et un restaurateur (pour la stabilisation voire la restauration).

Lors de la découverte en labo, lors de la restauration

La fouille est achevée depuis un certain temps et une partie du mobilier métallique est confiée à un laboratoire de restauration; du textile est mis en évidence lors du dégagement d'un objet métallique. La procédure adoptée par les restaurateurs, c'est-à-dire l'arrêt du dégagement sur la surface d'apparition du textile, est parfaitement adaptée à une éventuelle étude ultérieure.

Deux procédés mettent cependant en péril la collecte d'informations à venir : l'emploi d'un consolidant, car cela provoque une perte de la profondeur de champ (pas de visibilité à la loupe ni au microscope électronique à balayage) et la mise à plat et droit-fil des textiles conservés sous forme organique, puisque les plis et autres superpositions sont des indices de l'utilisation du textile au moment du dépôt.

Le début de l'ère textile ?

Depuis que les équipes de terrain commencent à prêter attention aux matières organiques, y compris sous forme minéralisée, les découvertes se multiplient. Certaines équipes choisissent même de ne plus dégager totalement les objets métalliques une fois découverts afin de permettre un inventaire textile (**fig. 3**).



Exemples rapides : les textiles de Ports-sur-Vienne ou le potentiel textile insoupçonné

Sur ce site funéraire, situé au bord de la Vienne, les sépultures (II^e-III^e siècle) sont implantées dans un sédiment très sableux. Les squelettes sont très endommagés; seuls subsistent intacts les tombes et leurs dépôts funéraires.

Ce milieu semble très défavorable à la conservation de textiles; sur le terrain l'auteur n'en avait entr'aperçu que deux, sans aucune certitude. Et pourtant, sous la loupe... sur 38 sépultures, 7 contenaient du « petit mobilier métallique »; ce mobilier, ainsi que des éléments architecturaux, portaient les restes étudiables de 13 textiles (pour davantage de détails, voir Henri, à paraître).

L'examen des trois caisses contenant la totalité du mobilier métallique sortant de la fouille, l'analyse des textiles et la rédaction du rapport ont pris trois jours, preuve s'il en était besoin que l'étude n'est pas nécessairement chronophage. Je ne peux ici fournir une estimation du coût, qui varie selon les besoins de l'étude (analyses chimiques, utilisation d'un microscope électronique à balayage...).

Conclusion

La douloureuse question finale est qui, du spécialiste ou du restaurateur, doit intervenir en premier? Cette question est souvent posée par les responsables d'opération et, bien que chacun fasse de son mieux pour préserver à la fois l'objet et les données scientifiques, le premier est la spécialité du restaurateur tandis que le second est celle du spécialiste. Ma conclusion penche donc pour une collaboration toujours plus étroite.

Références bibliographiques

Moulhérat C. (2001), *Archéologie des textiles protohistoriques. Exemple de la Gaule celtique*, thèse de doctorat, université de Paris I - Sorbonne.

Henri D. (2017), « Archéologie des textiles : présence, méthodologie, potentiel et résultats sur la nécropole de Ports-sur-Vienne (Indre-et-Loire) », dans Larminat (de) S., Corbineau R., Corrochano A., Gleize Y., Soulat J. (ed.), *Nouvelles approches de l'archéologie funéraire, actes des 6^e rencontres du Groupe d'anthropologie et d'archéologie funéraire, (Paris, 4 et 5 avril 2014)*, Paris, GAAF, (Publications du GAAF, 6), p. 187-194.

L'auteur

Delphine Henri docteur en archéologie, chercheur associé à l'UMR 7324 CITERES, delphine.henri@laposte.net

« FENÊTRE OUVERTE SUR LE PASSÉ », ÉTUDE ET RESTAURATION DE TROIS PLAQUES DE VERRE À VITRE GALLO-ROMAINES

ANAÏS BRAJA

Résumé La restauration et l'étude de trois vitres antiques, menées pendant un mémoire de master à l'Institut national du patrimoine, a permis de redécouvrir l'origine de trois pièces rares et méconnues du grand public, conservées au musée de la Porte du Croux à Nevers. La recherche a visé à améliorer nos connaissances sur les techniques de fabrication du verre plat employées par les verriers gallo-romains. La restauration a été menée dans le but d'assurer la bonne conservation du verre à long terme et de retrouver la lisibilité de la vitre. Pour permettre une présentation au public sur pupitre, une étude mécanique du réseau de fracturation en position inclinée a été menée afin d'établir un soclage sécurisé pour cet objet de grande dimension.

Histoire matérielle

Les trois vitres, très fragmentées mais pratiquement complètes, nous sont parvenues collées sur des panneaux de bois rectangulaires. À l'interface du bois et du verre une feuille de papier blanc a été fixée pour servir de fond de présentation. Très peu documentés, les objets ne possèdent pas de dossier d'œuvre et présentent comme seul indice de leur histoire matérielle une étiquette mentionnant leur appartenance à la collection « Mélines ». Une recherche dans les archives nous apprend que les vitres ont été découvertes entre 1841 et 1845 par cet archéologue amateur et léguées à la Porte du Croux en 1910. L'étude du site tend à indiquer qu'elles pourraient provenir de la demeure d'un notable (Bonneau, 2005).

Recherche technologique

Les vitres antiques sont représentées dans la plupart des collections muséales par des fragments isolés ou des ensembles très lacunaires, ce qui rend l'étude des techniques de fabrication très difficile. Le cas des trois vitres de la Porte du Croux, qui nous sont parvenues pratiquement complètes (**fig. 1**), est un exemple exceptionnel qui a permis de mener une étude technologique poussée sur l'ensemble des marques de fabrication (**fig. 2**). Un partenariat avec le pôle vitrail du Laboratoire de recherche des Monuments historiques et le Laboratoire inter-universitaire d'étude des systèmes atmosphériques a permis l'analyse des verres et l'observation des états de surface au microscope optique et au microscope optique à balayage (MEB) (**fig. 3**). Ces recherches¹ ont permis de documenter l'état d'altération des objets et de mieux connaître les techniques de mise en œuvre qui ont pu être employées.

¹ Menées sous la direction de Mmes Claudine Loisel et Aurélie Verney-Carron.

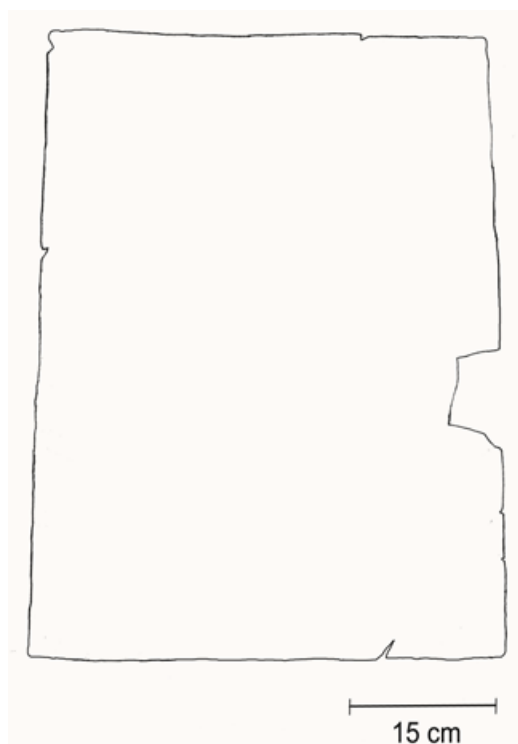


Figure 1 Profil archéologique de la vitre PC-535. © A. Braja.

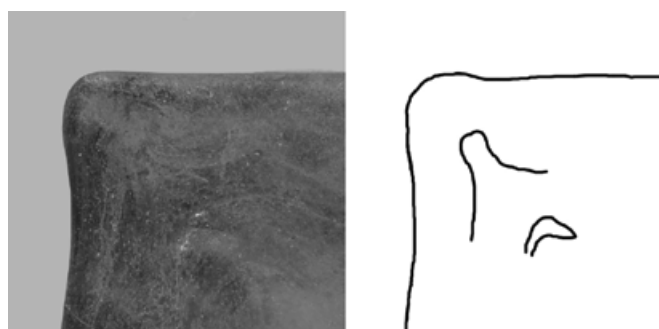


Figure 2 Trace d'outil, vitre PC-535. © A. Braja.

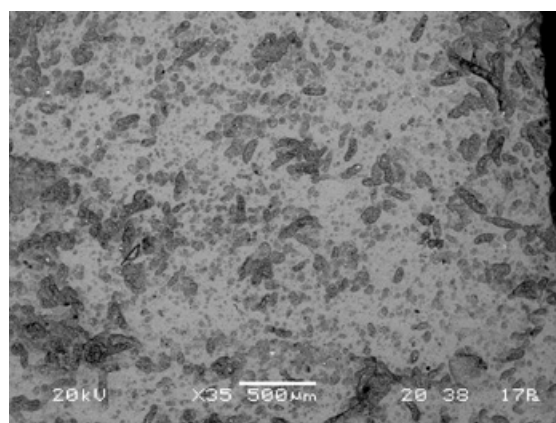


Figure 3 Surface de la vitre PC-535 au MEB (x35). © LRMH.

L'ensemble des marques de fabrication et des traces d'outil observées a été répertorié dans un tableau synthétique puis comparé aux techniques de fabrications du verre plat connues dans le monde antique : le coulage sur dalle et le soufflage au manchon. Cette recherche nous a permis d'établir avec l'aide d'un maître verrier² que la vitre a été réalisée par coulage. Cependant l'étude de ces marques suggère qu'elle n'a certainement pas été réalisée dans un moule et étirée à la pince, comme le présente l'hypothèse la plus diffusée dans la littérature, mais coulée librement dans un four sur une pierre réfractaire et tassée à chaud, selon le procédé décrit dans le schéma présenté en fig. 4.

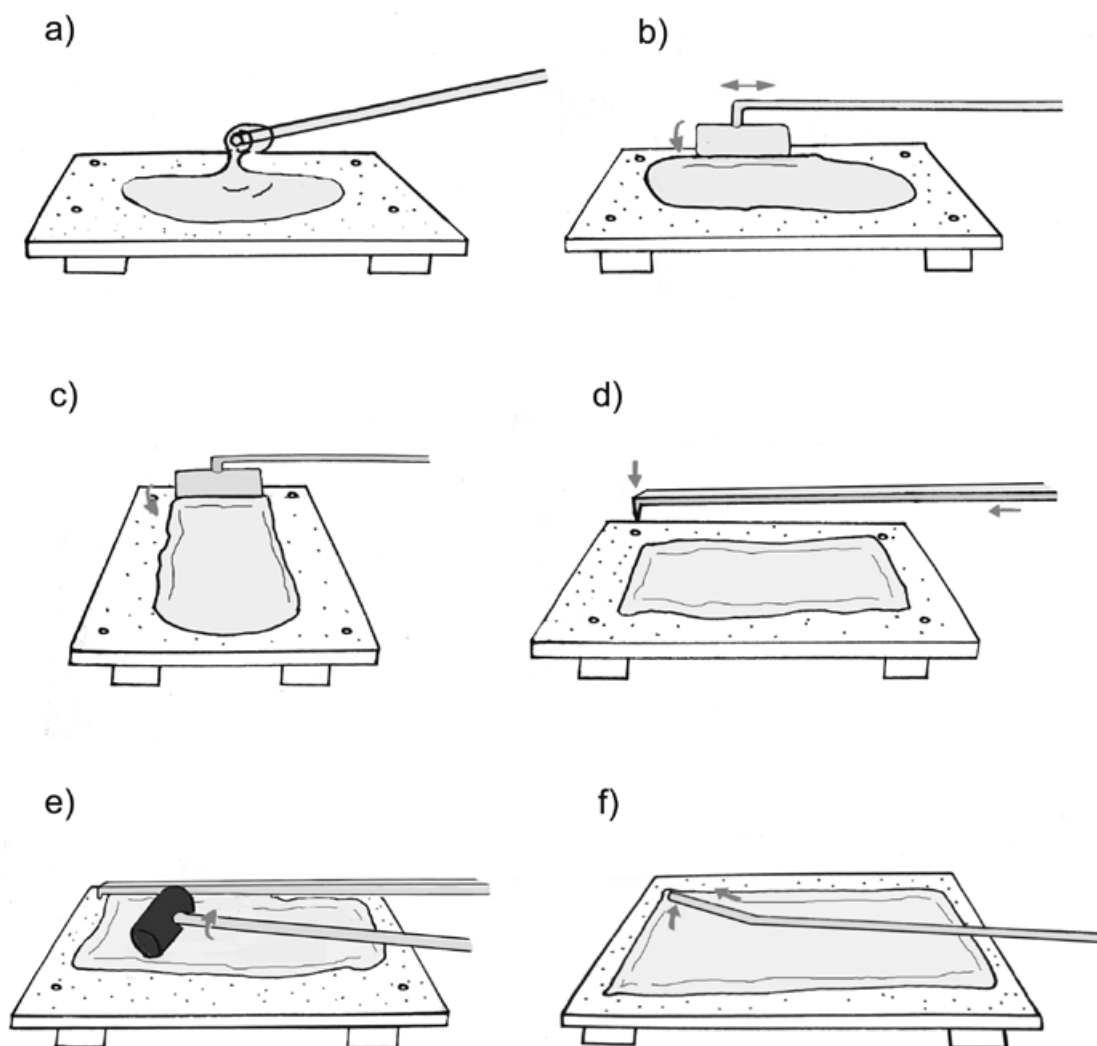


Figure 4 Proposition de fabrication des vitres de la Porte du Croux. © A. Braja.

² M. Olivier Juteau.

Constat d'état et diagnostic

Le constat d'état révèle que les trois vitres sont globalement très bien conservées et présentent des traces d'altérations traditionnelles provenant de leur usage et de leur enfouissement. Le système de montage, daté du XIX^e siècle, a néanmoins causé de nombreux dommages irréversibles sur la surface du verre. Ainsi, les vitres présentent toutes sur leur face encollée des altérations chimiques et mécaniques spécifiques, tandis que la face conservée à l'aire libre et mieux ventilée apparaît dans un bien meilleur état de conservation. Des cassures et des éclats récents sont également présents sur la vitre et semblent consécutifs à la déformation du panneau de bois qui, sous l'effet de l'humidité, s'est gauchi et a entraîné la compression des tessons les uns contre les autres (fig. 5).

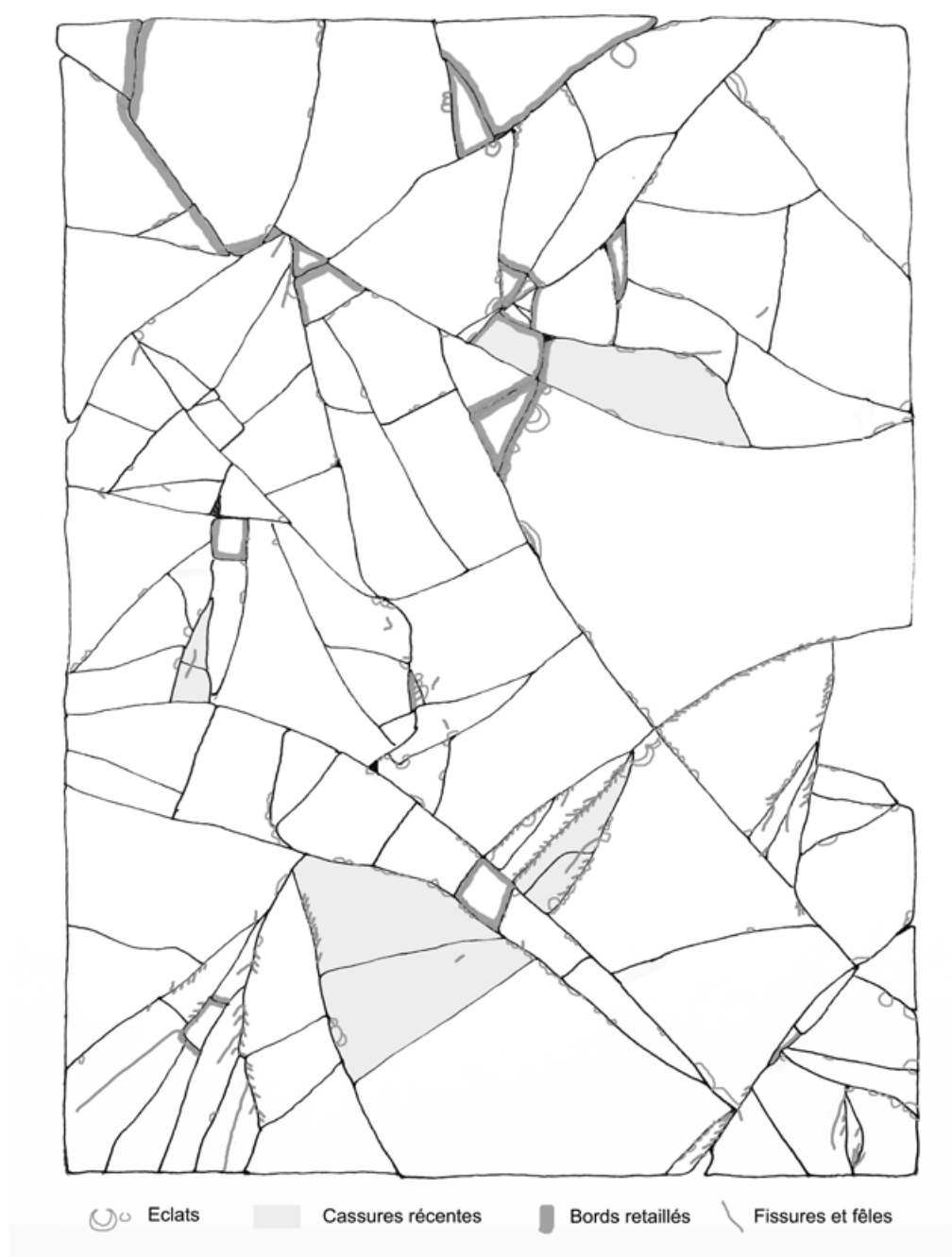


Figure 5 Relevé des altérations de la vitre PC-535. © A. Braja.

Restauration

Suite aux contraintes de temps, une seule des trois vitres a pu être restaurée dans le cadre du master. Les objectifs de cette intervention ont été définis en trois axes : assurer la conservation de l'objet à long terme, retrouver sa lisibilité et permettre sa présentation au public dans de bonnes conditions.

Pour préserver la vitre, un démontage du support a été préconisé. L'adhésif protéinique a été solubilisé par infiltration pour permettre la dissociation en douceur du verre de son panneau. Le papier d'interface, très fortement fixé sur la vitre, a été maintenu contre le verre pendant toute l'opération pour éviter tout risque d'arrachement des zones fragilisées. Après dépose, le décollage du papier a ensuite été mené par un apport modéré d'eau déminéralisée au travers d'un tissu microporeux appelé Gore-tex®. Cette technique a permis d'éviter la création de nouvelles tensions sur la surface du verre tout en limitant l'apport d'eau afin d'éviter la reprise des mécanismes d'altérations chimiques. Les restes de colles ont ensuite été retirés par action mécanique à l'aide d'un scalpel sous lunettes loupes.

Une fois la stabilité de l'objet retrouvé, nous avons cherché à rendre sa lisibilité à cet artefact étonnant. Pour cela, la face, exposée à l'air libre pendant de nombreuses années et présentant une surface chimiquement saine et un fort empoussièrement, a été nettoyée au bâtonnet de coton à l'aide d'un mélange eau déminéralisée-éthanol (50/50). Les cent treize tessons de la vitre ont ensuite été collés à l'aide de Paraloid B44®, préparé à 40 % dans un mélange acétone-éthanol (50/50), sur un système de cadre de maintien sur plan incliné construit sur mesure.

Dernière étape de la restauration, une semelle de support a été réalisée pour permettre le maintien de la vitre et faciliter sa présentation au public. Notre choix s'est orienté vers une présentation inclinée sur pupitre, capable d'assurer la sécurité de l'objet tout en permettant une bonne lisibilité. Les critères de ce soclage, très exigeants, ont nécessité l'emploi d'un support neutre, solide, transparent et dont le système d'attache ne masque pas les bords de la vitre (porteurs d'informations archéologiques rares). Pour répondre à cette demande nous avons créé un système sur mesure constitué d'une plaque de Plexiglass® sur laquelle la vitre a été maintenue à l'aide de taquets métalliques protégés de gaine thermoplastique. Afin de garantir la sécurité de la vitre, une étude mécanique a été menée sur le comportement du réseau de cassures en position inclinée. Du fait de l'absence d'orientation connue de l'objet, le premier objectif des tests a été de déterminer le sens de présentation le plus stable pour l'œuvre. Une étude de la réaction du réseau de cassures face à la variation de l'angle d'inclinaison a ensuite été menée pour prévoir le comportement de la vitre et identifier les tessons porteurs, dont la tenue assure à elle seule le maintien de tout le système. Les résultats de cette étude ont permis de concevoir ainsi un soclage sécurisé qui garantit de façon optimale le maintien de la vitre selon son réseau de fracturations.

Le travail de cette année de mémoire a permis de mettre en lumière un site archéologique tombé dans l'oubli et de découvrir des informations inédites sur l'histoire matérielle de trois objets peu communs. Le partenariat mené avec le LISA et le LRMH a permis de procéder à la caractérisation des verres de la Porte du Croux afin de connaître leur composition et leur état d'altération. Nous avons également ouvert de nouvelles hypothèses sur les méthodes de fabrication du verre plat dans l'antiquité. Enfin les problématiques complexes de conservation-restauration ont permis d'élaborer des traitements originaux et variés, ainsi qu'un système de soclage transparent, discret et sécurisé, basé sur les conclusions d'une étude

mécanique. Suite à ce projet de restauration, la vitre restaurée est à nouveau exposée depuis octobre 2015 au musée de la porte du Croux à Nevers, afin de permettre au public d'apprécier au mieux ce patrimoine exceptionnel.

Références bibliographiques

Barat M., Duvivier A. (1845), *Rapport à M. le préfet de la Nièvre sur les ruines gallo-romaines de Saint-Révérien*, Saint-Révérien.

Bonneau M. (2005), *Plan et urbanisation de la bourgade gallo-romaine de Compierre*, conférence donnée à Nevers le samedi 25 juin 2005.

Deloffre V., Foy D. (dir.) (2005), *De transparentes spéculations : vitres de l'Antiquité et du Haut Moyen Âge*, Bavay, Musée-site d'archéologie.

Fontaine S.D., Foy D. (2008), « Diversité et évolution du vitrage de l'Antiquité et du Haut Moyen Âge », *Gallia*, n° 65, p. 405-459.

Foy D., Nenna M.D. (dir.) (2001), *Tout feu tout sable. Mille ans de verre antique dans le midi de la France*, Marseille, Éd. Edisud.

Guillemet C. (2008), « Une petite encyclopédie du verre. Fabrication du verre plat », *Verre*, vol. 14, n° 4, p. 58-63.

Koob S.P. (2006), *Conservation and care of glass objects*, London, Éd. Archetype.

Lagabriele S., Philippe M. (dir.) (2005), *Verre et fenêtre de l'Antiquité au XVIII^e siècle*, Paris, Éd. Verre et histoire.

La Porte du Croux et son musée (1990), Nevers, Éd. Camosine (coll. Les Annales du Nivernais, 64).

Le site archéologique de Compierre (1989), Nevers, Éd. Camosine (coll. Les Annales du Nivernais, 59).

Robinet L. (2006), « The role of organic pollutants in the alteration of historic soda silicate glasses », université Pierre et Marie Curie - Paris VI et Edinburgh University, [En ligne], (page consultée le 15 avril 2015), URL : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00088408>

Stern E.M. (dir.) (2006), *Le verre dans l'empire romain : arts et science*, Cité des sciences et de l'industrie, Paris, Éd. Giunti.

L'auteur

Anaïs Braja restauratrice de céramique, verre et émail, 24 rue de Saint-Pétersbourg, 75008 Paris, anaïs.braja@gmail.com.

RESTAURATION « POUR ÉTUDE » OU « POUR EXPOSITION » : LA SIGNIFICATION DE CES NOTIONS À L'AGENCE WALLONNE DU PATRIMOINE (SERVICE PUBLIC DE WALLONIE)¹

EVE BOUYER, CRISTEL CAPPUCCI

Résumé Pour le matériel archéologique du service public de Wallonie (SPW) les notions « pour étude » et « pour exposition » sont utilisées dans les cahiers des charges. Nous nous sommes penchées sur la signification de ces notions sur les plans axiologique et téléologique, en étudiant des cas relevant de différents types de matériaux, ce qui nous a permis de mieux circonscrire les principes et pratiques en vigueur au sein de notre service public.

L'emploi des notions « pour étude » et « pour exposition » au SPW : bref historique

De 1989 à 2009, sous la direction de Sylviane Mathieu, fondatrice des laboratoires de conservation-restauration du SPW, la distinction entre restauration « pour étude » et « pour exposition » n'apparaît pas encore.

En 2009, la gestion de la conservation-restauration est confiée à Marie-Hélène Schumacher et Cristel Cappucci. La même année, la mention « pour étude, dessins et publication » apparaît pour la première fois dans les cahiers des charges. La quantité croissante de matériel à traiter et une volonté de permettre la publication en des temps raisonnables avaient en effet poussé les nouvelles responsables à envisager des solutions concrètes pour diminuer les délais et coûts des interventions.

Dès 2010, l'emploi de la mention « pour étude » ou « pour exposition » est systématisé dans le point « Objet du marché » du cahier des charges et, depuis 2012, elle est intégrée au titre.

Le support de l'axiologie

La réception d'un objet repose sur les valeurs qu'on lui attribue. Celle-ci étant un reflet de la culture ambiante, les valeurs sont relatives et leur perception est amenée à évoluer. Cela implique d'être modeste quant à nos choix d'intervention et correspond d'ailleurs à l'une des bases sur lesquelles s'est forgé le principe de réversibilité.

¹ À l'époque de la communication donnée en 2015, notre propos concernait « la direction de l'Archéologie du service public de Wallonie ». Une restructuration des services patrimoniaux a entre temps eu lieu.

Pour souhaiter conserver (c'est-à-dire transmettre aux générations futures) un objet, il faut qu'on lui reconnaisse au moins une valeur. Décider de le restaurer « pour étude » ou « pour exposition » dépendra de la perception des valeurs, tant sur le plan qualitatif que quantitatif. En effet, un objet qui présente une valeur flagrante et/ou en cumule plusieurs sera volontiers exposé. Les valeurs transparaissent parfois de manière évidente dès la fouille, mais la restauration permet de les révéler pleinement (**fig. 1**).



Figure 1 Corne à boire mérovingienne, Bossut-Gottechain (t. 250) / G. Hardy©SPW-AWaP.

Nous nous sommes penchées sur trois systèmes axiologiques employés en conservation-restauration. Les plus connus, développés par Cesare Brandi dans *Théorie de la restauration* et par Aloïs Riegl dans *Le culte moderne des monuments*, nous paraissent relativement peu adaptés aux objets archéologiques, mais celui de Barbara Appelbaum nous semble plus pertinent dans ce cadre de réflexion (Appelbaum, 2010). Nous citons ci-dessous les douze valeurs envisagées par l'auteur (dans le même ordre que celui donné dans son ouvrage) et livrons quelques-unes des réflexions qu'elles nous ont inspirées.



Figure 2 Vase mérovingien, Bossut-Gottechain (t. 118) : « réinterprétation » du modèle biconique / G. Hardy©SPW-AWaP.

Appelbaum propose de distinguer les valeurs artistique et esthétique : alors que la valeur artistique serait culturelle, car partagée par un grand nombre, la valeur esthétique serait relative à la sensibilité personnelle du spectateur. Ainsi, un verre archéologique peut être esthétiquement plaisant par son aspect irisé, qui ne relève pourtant pas de l'intention artistique du verrier. La valeur artistique peut être définie de multiples façons : nous retenons notamment le sens créatif, dont témoignent certains objets qui sortent franchement des typologies connues (**fig. 2**).

La valeur historique dépend selon Appelbaum du fait que l'objet témoigne pleinement de la période dont il provient : elle est donc très élevée pour les objets archéologiques issus de fouilles documentées.

L'objet archéologique renferme des informations susceptibles d'améliorer l'état des connaissances : en cela, il présente une valeur scientifique, ou en

d'autres termes un « potentiel informatif » (Berducou, 2007) Cette valeur peut être particulièrement élevée si l'objet délivre des informations inédites; cependant l'objet commun a lui aussi un intérêt scientifique, ne fût-ce que d'un point de vue statistique. Il peut arriver qu'un objet ait eu dès l'origine une fonction scientifique et participe à ce titre à l'histoire des sciences, ce qui augmente simultanément ses valeurs historique et scientifique (**fig. 3**).



Figure 3 Alambic, xvi^e siècle, château de Marie Hongrie (Binche) / M. Demellenne (Musée royal de Mariemont) ©SPW-AWaP.

La plupart des objets archéologiques ont potentiellement une valeur éducative², c'est-à-dire une aptitude à soutenir un discours destiné au grand public. Cette valeur regroupe en fait chacune des valeurs attribuées à l'objet étant susceptibles d'être signifiantes pour un spectateur. Elle pourrait aussi être qualifiée de « potentiel évocateur » (Berducou, 2007).

La valeur d'ancienneté est tout aussi relative que la valeur esthétique. Au SPW, nous constatons une évolution : un ensemble datant de la seconde guerre mondiale³ a été récemment traité, ce qui aurait semblé impensable quinze ans plus tôt. Notons que certains objets archéologiques avaient déjà une valeur d'ancienneté dans le passé (par exemple, des bracelets protohistoriques découverts dans des tombes mérovingiennes⁴) : nous les percevons donc comme anciens non seulement par rapport à nous, mais aussi par rapport à leur contexte de découverte.

² Notre interprétation diffère de celle, plus restrictive, de l'auteur.

³ Site de Bruyelle et Calonne.

⁴ Site de Bossut-Gottechain.

La valeur associative est envisagée par l'auteur en tant qu'association à une personne célèbre, mais en archéologie, l'association à un lieu fameux ou à une personne anonyme peut parfaitement fonctionner. Ainsi, le matériel d'une tombe peut être associé à un anonyme ayant appartenu à une élite, parfois par la présence d'un *item* en particulier, comme un angon (fig. 4); par processus associatif, les autres objets de la tombe peuvent recevoir des restaurations poussées, même s'ils ont individuellement peu de valeur.



Figure 4 Tombe mérovingienne présentant un angon décoré, Bossut-Gottechain (t. 127) / R. Gilles ©SPW-AWaP.

La valeur de rareté pèse beaucoup sur la réception d'un objet : elle augmente l'impact des autres valeurs en présence, c'est pourquoi nous pourrions la qualifier de « super-valeur ». Un objet peut être rare en soi (s'il l'était déjà à l'époque de sa création), rare d'un point de vue contextuel (par exemple, les seules coupelles mosaïquées jamais découvertes en Belgique⁵) ou encore rare par son excellent état de conservation.

Appelbaum propose encore les valeurs de nouveauté, sentimentale, monétaire et commémorative, que nous ne développons pas ici faute d'espace. Cette liste nous semble néanmoins incomplète, et nous proposons d'y ajouter notamment la valeur symbolique, fondamentale entre autres pour les objets rituels, et la valeur utilitaire, mentionnée par Brandi et davantage développée par Riegl. Ce dernier la classe cependant parmi les valeurs d'actualité, alors que dans le cas des objets archéologiques, elle relève du passé.

Mentionnons que la définition de la restauration donnée par Cesare Brandi pour les œuvres d'art a reçu une adaptation pour les objets archéologiques par Marie Berducou. Celle-ci propose de remplacer la « double polarité esthétique et historique » par le « double potentiel, informatif et évocateur » (Berducou, 2007). Nous lions ce double potentiel aux valeurs scientifique et éducative, qui constituent selon nous une clé de compréhension quant à la différence entre restauration « pour étude » et « pour exposition ».

⁵ Site de Ghislenghien.

L'intention et les limites de l'intervention

Tant que les valeurs d'un objet ne sont pas clairement identifiées, définir l'intention de l'intervention peut être difficile. Cette difficulté apparaît régulièrement pour les objets archéologiques, particulièrement certains métaux ferreux et bois gorgés d'eau.

Que ce soit pour exposition ou pour étude, il faut réaliser les opérations indispensables pour la conservation à long terme, qui varient au cas par cas : elles peuvent comprendre par exemple la consolidation, la stabilisation ou le nettoyage (l'hygroscopicité du sédiment étant nuisible pour certains matériaux).

Intervenir « pour étude » signifie selon nous s'attacher à révéler particulièrement la valeur scientifique de l'objet. Au SPW, pour des raisons budgétaires, celle-ci se résume souvent aux caractéristiques typo-chronologiques. S'ajoute ainsi aux opérations susmentionnées celle du remontage, qui peut cependant être partiel, c'est-à-dire limité au rétablissement du profil. Le remontage pour étude nécessite parfois de réaliser des comblements structurels; au SPW, ils ne sont pas teintés ou retouchés (**fig. 5**).

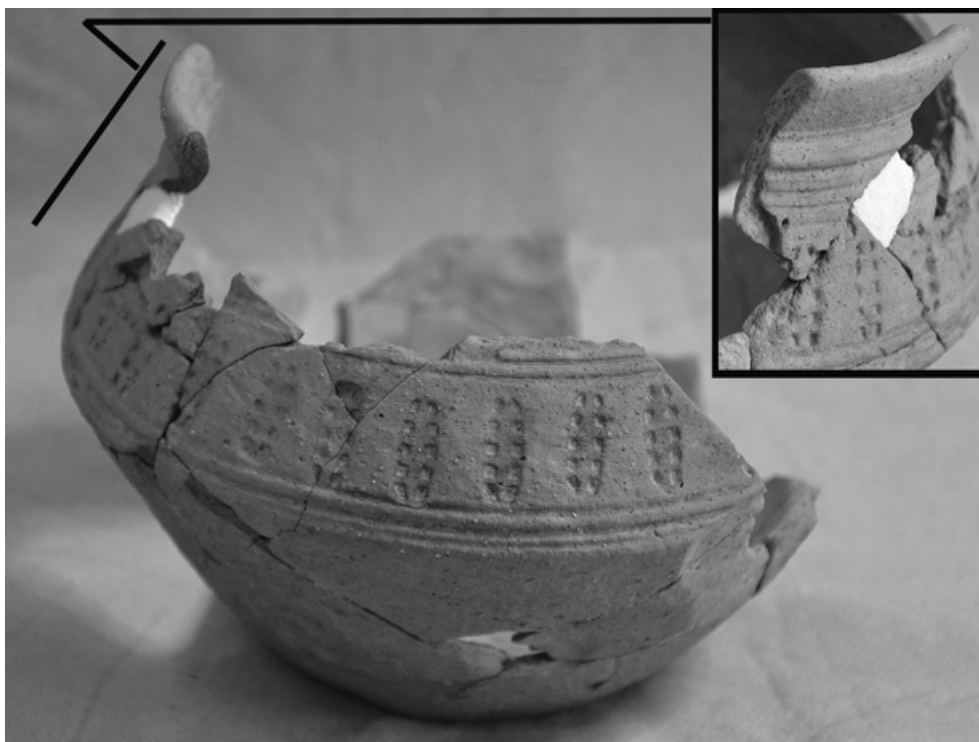


Figure 5 Vase mérovingien, les Larrons (t. 263) / E. Bouyer ©SPW-AWaP.

Intervenir « pour exposition » signifie selon nous rendre les valeurs de l'objet plus intelligibles pour le grand public, autrement dit maximiser sa valeur éducative, son potentiel évocateur. Ainsi, le remontage est poussé aussi loin que possible et les comblements structurels sont intégrés, dans l'intention de ne pas gêner l'appréciation de la valeur esthétique.

Aussi, les comblements ne sont plus exclusivement limités au structurel mais peuvent être réalisés dans l'intention de mettre l'accent ou de rendre plus intelligible l'une ou l'autre valeur de l'objet. Il peut s'agir par exemple de la valeur esthétique ou encore de la valeur

utilitaire : en reconstituant un élément manquant (par exemple le goulot d'une cruche), on vise à rendre la fonction de l'objet plus compréhensible.

Mais il peut s'agir d'autres valeurs, comme ce fut le cas pour une sigillée récemment re-restaurée pour exposition (Hanut, 2014). De typologie connue et en mauvais état, son intérêt réside surtout dans la présence de restes d'agrafes antiques. Celles-ci confèrent en effet une valeur historique à l'objet, car témoignent de l'histoire des méthodes de réparation, et peut-être aussi une valeur sentimentale, car dénotent une volonté de conserver un objet brisé plutôt que de le jeter. Néanmoins, à cause du mauvais état de cette sigillée, la présence des restes d'agrafes était peu « lisible ». Afin que le spectateur puisse un peu plus facilement concentrer son attention sur ces zones de réparation et les lignes de cassure attenantes, un comblement discret a été réalisé au niveau d'une ligne de cassure et d'un manque postérieurs à la réparation antique (**fig. 6**).

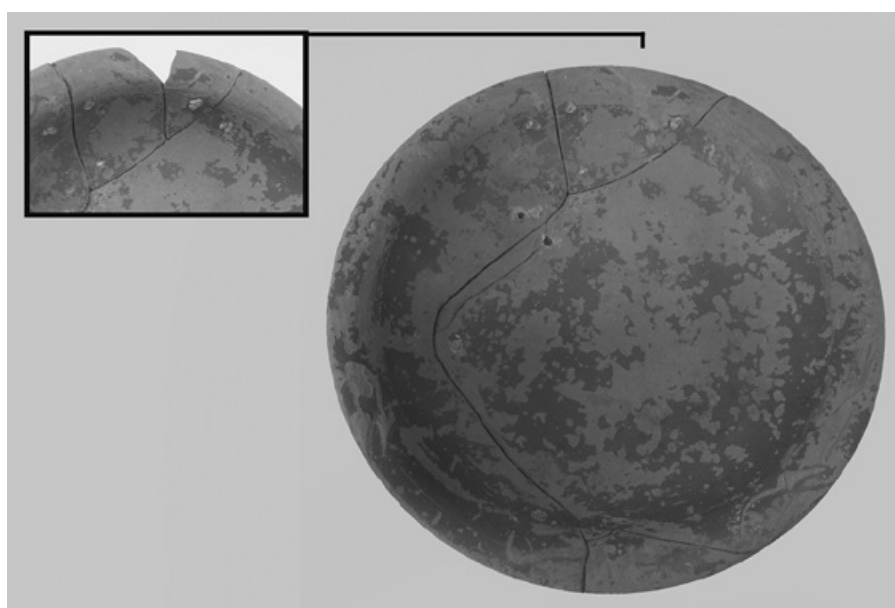


Figure 6 Coupe sigillée, Wanze-Vinalmont (t. 5) : détail avant et ensemble après restauration / H. Blanpain ©SPW-AWaP.

Dans une deuxième phase de la réflexion, nous nous sommes interrogées sur ce que la différence entre intervention « pour étude » et « pour exposition » implique en fonction des principaux types de matériaux traités au SPW.

Pour les céramiques, le nettoyage pour étude de la surface ne doit pas forcément être poussé au maximum, car il s'agit d'une opération très chronophage, particulièrement si la surface présente une certaine fragilité. Un nettoyage poussé n'est pas forcément indispensable pour la conservation à long terme et augmente le risque de perte d'information (altération des décors ou disparition de traces liées à l'utilisation). Pour exposition, il pourra éventuellement être parachevé dans un but esthétique.

Pour les verres, leur comblement est encore plus restreint que pour les autres matériaux, car il est particulièrement onéreux, tant matériellement qu'en temps de travail. Nous traitons actuellement pour étude un ensemble de verres du ^{xvii}e siècle comptant environ 600 individus : afin d'éviter tout comblement, les agrafes de remontage sont laissées en place le temps de l'étude (**fig. 7**).



Figure 7 Verre moderne, rue Jean Lescart (Mons) /
C. Cappucci ©SPW-AWaP.

Concernant le remontage pour exposition des verres sains, les résines époxydes sont préférées : elles sont plus coûteuses et moins réversibles que les acryliques, mais sont néanmoins plus sécurisantes pour les transports et offrent un meilleur résultat esthétique par leur indice de réfraction proche de celui du verre.

Pour les matériaux organiques gorgés d'eau, la consolidation-lyophilisation est une étape onéreuse. C'est pourquoi il nous semble important de préconiser une sélection par l'archéologue directement sur le terrain, car la conservation à long terme des objets organiques est compromise s'ils subissent une immersion trop prolongée. Aussi, s'ils présentent une valeur scientifique relativement faible et aucun potentiel éducatif, il peut être envisagé de les étudier gorgés d'eau et de les jeter après enregistrement.

Heureusement, leurs valeurs transparaissent parfois de manière évidente. C'est le cas d'un chariot en bois, daté entre le ^{xi}e et le ^{xiii}e siècle, et découvert le long de la *Via Mansuerisca* : l'objet est ancien, associé à une célèbre route, et rare tant d'un point de vue contextuel que par l'étonnant état de conservation de certains éléments. Vu ce cumul de valeurs, le chariot présentait un véritable potentiel tant sur le plan scientifique qu'éducatif, et il était dès sa découverte certain que l'intégralité de ses éléments serait prélevée, traitée et si possible remontée pour exposition.

Concernant les métaux précieux, on leur prête généralement de multiples valeurs, non seulement monétaire mais aussi de rareté, associative, esthétique et artistique. S'ils sont un peu

moins rares et que leurs valeurs n'apparaissent pas toujours de manière aussi évidente, on attribue cependant à la plupart des objets en alliages cuivreux des valeurs similaires.

Dans les faits, il existe selon nous pour ces deux types de métaux finalement peu de différences entre restauration « pour étude » et « pour exposition ». Étant donné les valeurs qu'ils cumulent, on accordera toujours les moyens nécessaires à leur conservation à long terme.

Pour les métaux ferreux, par contre, nous appliquons une nette différence entre restauration « pour étude » et « pour exposition ». Cela tient autant à leurs valeurs, qui varient beaucoup d'un objet à l'autre, qu'aux niveaux de corrosion, qui permettent d'envisager différents degrés de restauration (**fig. 8**).



Figure 8 Seau mérovingien restauré pour étude, Viesville (t. 45) / G. Dumont ©SPW-AWaP; seau mérovingien restauré pour exposition, Bossut-Gottechain, (t. 413) / L. Baty ©SPW-AWaP.

D'ailleurs, il existe même un « degré zéro » : l'imagerie radiographique, depuis peu systématiquement réalisée sur les ferreux au SPW, peut dans certains cas suffire à leur étude. Si la radiographie ne fournit pas toutes les informations voulues, un nettoyage pour étude est entrepris. Pour des raisons de délais et de budget, celui-ci cible les informations d'ordre typo-chronologique, alors qu'il serait possible d'étudier d'autres caractéristiques d'ordre scientifique, telles que l'évolution des techniques métallurgiques et les mécanismes de corrosion (Cleeren, 2014).

Pour exposition, nous avons jusqu'ici généralement poussé le nettoyage et le polissage jusqu'à se rapprocher au maximum de l'apparence originale de la surface métallique, ce qui correspond à une maximisation de la valeur esthétique. Néanmoins, l'attention croissante portée aux témoins organiques est en passe de modifier notre approche.

Pour étude comme pour exposition, le nettoyage devrait à terme viser à préserver toute trace organique révélatrice de l'utilisation de l'objet. Cela prendra plus de temps sans doute, et donc impactera le budget.

Cette tendance actuelle – qui veut que la valeur utilitaire ne se borne plus seulement à l'objet lui-même mais s'étende à ce qui l'entoure et ce, finalement, aux dépens de la valeur esthétique – nous paraît révélatrice du fait que la réception des objets archéologiques continue d'évoluer.

Cela rappelle aussi que des usages répandus peuvent brusquement devenir critiquables, surtout lorsqu'ils sont irréversibles, et que nos choix ne peuvent prétendre à aucune pérennité.

Conclusion

Dans un contexte où faire des économies s'impose, il nous semble utile d'évaluer de manière raisonnée les valeurs afin de justifier ou refuser des interventions onéreuses, et de préciser des limites aussi bien pour étude que pour exposition : cet article rend compte de ces limites dans l'état actuel de nos réflexions.

Remerciements

Tous les objets illustrés et mentionnés dans cet article proviennent de fouilles menées par le SPW, avec le concours de l'ASBL RPA pour les sites de Bossut-Gottechain, Viesville et Ghislenghien.

Références bibliographiques

Appelbaum B. (2010), *Conservation treatment methodology*, Grande-Bretagne, Amazon.co.uk, 470 p.

Berducou M., (2007), « Brandi, l'œuvre d'art, et ... "tout le reste" », dans Gesché-Koning N., Périer-d'Ieteren C. (éd.), *Cesare Brandi (1906-1988), sa pensée et l'évolution des pratiques de restauration*, Bruxelles, Université libre de Bruxelles, p. 42-47.

Cleeren N. (2014), « Conservation of archaeological iron : conservation, planning and the retrieval of archaeological information – a differentiated approach », dans Clerbois S. (éd.), *La conservation-restauration des métaux archéologiques : des premiers soins à la conservation durable*, Namur, Institut du patrimoine wallon, p. 93-99.

Hanut F. (éd.) (2014), *Du bûcher à la tombe*, Namur, Institut du patrimoine wallon, p. 40, 128.

Les auteurs

Eve Bouyer conservatrice-restauratrice et doctorante en Art et sciences de l'art (Université libre de Bruxelles et ENSAV La Cambre); rue d'Anethan n° 14, B-1030 Bruxelles, Belgique. evebouyer@hotmail.com

Cristel Cappucci Cellule restauration de la Direction de l'Appui technique et scientifique de l'Agence wallonne du Patrimoine; rue des Brigades d'Irlande n° 1, B-5100 Jambes, Belgique. cristel.cappucci@awap.be

MISE EN VALEUR DES SCULPTURES FRAGMENTAIRES EN MATÉRIAUX PIERREUX, EN CONTEXTE MUSÉAL : LA PHOTOGRAMMÉTRIE COMME OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION

HÉLÈNE COLLOMB, ANAÏS LECHAT

Résumé L'étude qui va suivre est une réflexion sur le montage des œuvres sculptées instables sur leur support et destinées à être présentées en contexte muséal. Les sculptures de grandes dimensions, fragmentaires et lacunaires, retiennent particulièrement notre attention, car elles posent des problèmes de stabilité et de mécanique. Nous avons mis en place un protocole d'analyse et de conception du montage d'une sculpture en travaillant de manière interdisciplinaire : avec un restaurateur de sculptures, un ingénieur spécialisé dans l'imagerie 3D et une étudiante ingénieur en mécanique et matériaux.

En particulier, nous verrons comment l'outil photogrammétrique est utilisé pour l'étude structurale de la sculpture afin de déterminer les matériaux à utiliser pour sa restauration. La démarche interdisciplinaire menée ici a permis la création d'une note proposée pour aider le restaurateur de sculptures à rédiger un cahier des charges à l'intention de l'ingénieur. Les différentes étapes du rapport d'ingénierie sur l'étude mécanique d'une sculpture y sont développées.

Restaurer une sculpture fragmentaire et lacunaire

Avant d'entreprendre un traitement de conservation-restauration, un protocole d'analyse et de conception du montage d'une sculpture fragmentaire est indispensable. Afin d'illustrer la démarche, voyons le cas du réassemblage d'une sculpture brisée : l'Atlante d'Apamée de Syrie, une sculpture romaine datant du II^e siècle après J.-C. Il s'agit d'un haut-relief en calcaire, conservé aux musées royaux d'Art et d'Histoire de Bruxelles (Belgique).

À la suite d'un incendie la sculpture s'est cassée en de nombreux fragments; elle fut ensuite conservée dans cet état dans les réserves du musée. Elle est entrée dans l'atelier de restauration des sculptures de l'ENSAV La Cambre en 2014, pour y bénéficier d'une étude¹. et d'un traitement de conservation-restauration. Les photographies (**fig. 1**) présentent l'état de la sculpture et ses multiples fragments à son arrivée à l'atelier, avant intervention.

¹ Étude réalisée dans le cadre d'un mémoire présenté en vue de l'obtention du master en Conservation-restauration des Œuvres d'art, spécialité sculpture / ENSAV La Cambre / Bruxelles, année académique 2014-2015 (Lechat, 2015).



Figure 1 État de quelques fragments avant restauration. ©Anaïs Lechat.

L'Atlante constitue un beau défi technique de montage d'une sculpture non seulement fragmentaire mais aussi très lacunaire et donc très instable sur son support.

Nos questions sont les suivantes : comment assembler les fragments entre eux, et comment assembler la sculpture à son support dans le musée? Ceci, en respectant au mieux l'intégrité de la matière de l'œuvre.

Nous sommes face à plusieurs difficultés :

- le poids : les fragments pèsent entre 30 et 314 kg. L'ensemble des fragments pèse environ 550 kg;
- la manipulation : pour des raisons de conservation et afin d'éviter l'affaiblissement des plans de cassure, il est préférable de limiter les manipulations des fragments.

Visualiser le rendu final après assemblage n'est donc pas chose aisée et il s'avère difficile d'anticiper les risques de manière globale. En tenant compte de tous ces aspects, notre volonté est d'optimiser le choix des matériaux pour la restauration et le montage de la sculpture.

L'intérêt de l'outil numérique et de la photogrammétrie

Afin d'étudier la sculpture, Stéphane Jupin, spécialiste de l'image et service 3D², s'est associé au projet en proposant l'outil photogrammétrique pour réaliser un modèle 3D de l'Atlante. Ce procédé consiste à créer un scan de chaque fragment sous plusieurs angles de vue et de construire ensuite un modèle 3D par corrélation dense d'images numériques.

La photogrammétrie présente de nombreux intérêts pour la conservation-restauration des sculptures :

- préserver l'information de l'œuvre photographiée à un moment donné de son histoire;
- enrichir le contenu d'une étude préalable;
- donner trace de l'œuvre avant traitement, puis après traitement;
- éviter de mouler la sculpture, et donc d'utiliser des agents de démoulage;

² Laboratoire de recherche, de conservation et de restauration du patrimoine archéologique mobilier, Arc'Antique, Nantes.

- réaliser des socles sur mesure pour soutenir de manière uniforme la sculpture;
- réaliser des armatures internes sur mesure dans la masse sculptée.

Dans le cas de l'Atlante d'Apamée, l'ingénieur a réalisé une étude structurelle³ à partir de ces modèles numériques. Sur la base du protocole et des matériaux proposés par le restaurateur, ces choix ont été optimisés et améliorés par l'ingénieur. Les éléments du montage ont tous été vérifiés : le collage des fragments, la structure métallique et le socle. Nous avons également évalué les contraintes appliquées sur ces éléments, ce qui permet d'anticiper les risques, de visualiser les cas limites et d'optimiser le choix des matériaux.

Grâce aux logiciels photogrammétriques⁴, nous pouvons manipuler et visualiser numériquement tous les fragments, ainsi que le volume de la sculpture une fois réassemblée. En pratique, à l'atelier de restauration nous avons limité ainsi la manipulation des fragments.

Ces méthodes numériques ont permis de mieux appréhender les forces mécaniques qui s'exercent sur la sculpture : la résistance à la compression de la pierre, la résistance à la traction des inserts métalliques et des colles.

À partir du modèle 3D de l'Atlante, l'ingénieur a étudié les interfaces de collage des fragments : leur état de surface et leur inclinaison. Ainsi, les couches de colle ont été étudiées selon l'étendue de la surface à coller, le poids des fragments les surmontant et leur angle d'inclinaison. Cette contrainte équivalente est comparée ensuite à la limite d'élasticité des différentes colles envisagées par le restaurateur, multipliée par un facteur de sécurité.

L'étude structurelle a été effectuée en considérant la sculpture en situation stable (muséale) mais aussi en situation transitoire, en tenant compte des vibrations provoquées par des travaux ponctuels, ou encore des vibrations (chocs) rencontrés lors d'un transport. Les ingénieurs ont conçu numériquement le modèle de la semelle qui vient maintenir la sculpture verticalement. Il est techniquement possible d'imprimer cette semelle en trois dimensions.

En outre, la modélisation a permis à nos collaborateurs et ingénieurs d'étudier et de vérifier les différents éléments du montage, et de dialoguer sur la base d'un même support visuel.

Répondre aux principes déontologiques de réversibilité des matériaux

Cette démarche interdisciplinaire s'est avérée très enrichissante pour notre pratique de restaurateur. Les calculs de résistances des matériaux ont permis de faire les choix les plus appropriés pour le cas spécifique de l'Atlante.

Dans le domaine de la restauration des œuvres sculptées de grandes dimensions, il n'est pas rare d'utiliser des moyens irréversibles et très interventionnistes. Citons simplement l'utilisation de résines thermodurcissables et la réalisation de percements pour permettre un goujonage. Notre volonté était de restaurer l'Atlante en respectant au mieux la matière de l'œuvre. Ainsi, pour assembler les fragments entre eux, nous n'avons pas réalisé de goujonage. L'utilisation d'une résine acrylique thermoplastique, le Paraloid B48-N, s'est en effet avérée suffisante. C'est après des tests en atelier et après vérification des propriétés de l'adhésif appliqué à la sculpture que nous l'avons utilisé sur les plans de cassure de l'Atlante⁵.

³ Étude structurelle complète en annexe du mémoire (Lechat, 2015).

⁴ Logiciels Meshlab et CloudCompare.

⁵ Paraloid B48-N à 50 % dans l'acétate d'éthyle. Choix réalisé à partir de tests en atelier et des études de G. Corti (2014) et J. Down (2015).

D'une part, l'emploi de cette résine est beaucoup plus confortable que celui d'une résine de type époxy (choix de la concentration en résine et choix du solvant de mise en œuvre en fonction du temps de travail et du substrat à coller). D'autre part, nous avons ainsi évité l'utilisation d'une résine thermodurcissable irréversible, ce qui est une avancée très encourageante. Grâce à cette étude préalable très complète, le travail pratique de restauration s'est effectué sereinement. L'assemblage des fragments entre eux et la réalisation d'une semelle ont été réalisés par le restaurateur. La structure métallique a, quant à elle, été effectuée par un socleur métallier⁶.

Cette collaboration a permis de mettre en évidence l'intérêt de fédérer les compétences, de s'ouvrir à de nouveaux outils et d'avoir un langage commun pour que les différents spécialistes puissent entreprendre un traitement de conservation-restauration cohérent.

Mode opératoire d'évaluation d'un rapport d'ingénierie aidant à la restauration d'éléments statuaire brisés

Cette note propose au restaurateur une méthode afin de rédiger un cahier des charges à l'attention de l'ingénieur et d'évaluer les résultats fournis par ce dernier. Cette méthode s'applique dans le cas d'une étude prévisionnelle des matériaux de restauration d'éléments statuaire cassés.

Cahier des charges : que peut demander le restaurateur ?

- Production d'un modèle 3D de chacun des fragments.
- Production d'un modèle 3D de la sculpture réassemblée.
- Vérification du choix des matériaux d'assemblage (résistance des colles, tiges métalliques, structures métalliques...).
- Vérification de la résistance de la sculpture à restaurer et de son socle après remontage et restauration.
- Évaluation de la nécessité ou non d'inclure des goujons entre les fragments.
- Aide au soclage : production d'un modèle 3D virtuel de semelle permettant le maintien vertical de la sculpture ; étude du matériau dans lequel on peut la réaliser.
- Dimensionnement de l'armature métallique envisagée pour tenir la sculpture (éviter le surdimensionnement).
- Étude dynamique de l'ensemble : dans quelles conditions doit-on transporter ou exposer la sculpture réassemblée ?

Documents à fournir à l'ingénieur

- Contexte général de la restauration et objectifs précis (conditions de restauration / transport / exposition au public).
- Photographies de tous les fragments avec les dimensions notables inscrites (longueur / épaisseur / largeur).
- Poids des fragments.

⁶ Pascal Marchand, chef de l'équipe technique des musées royaux d'Art et d'Histoire de Bruxelles.

- Matériau(x) des éléments statuaire (indication sur l'état de conservation de la sculpture, pour notamment statuer sur l'iso-densité et l'homogénéité ou non des fragments et pouvoir effectuer par la suite des calculs barycentriques).
- Plan de restauration (éléments de restauration envisagés : goujons, armature métallique, colle, socle... matériaux envisagés accompagnés de leur fiche technique précise avec notamment les caractéristiques mécaniques)
- Fiche technique des produits que le restaurateur envisage d'utiliser.

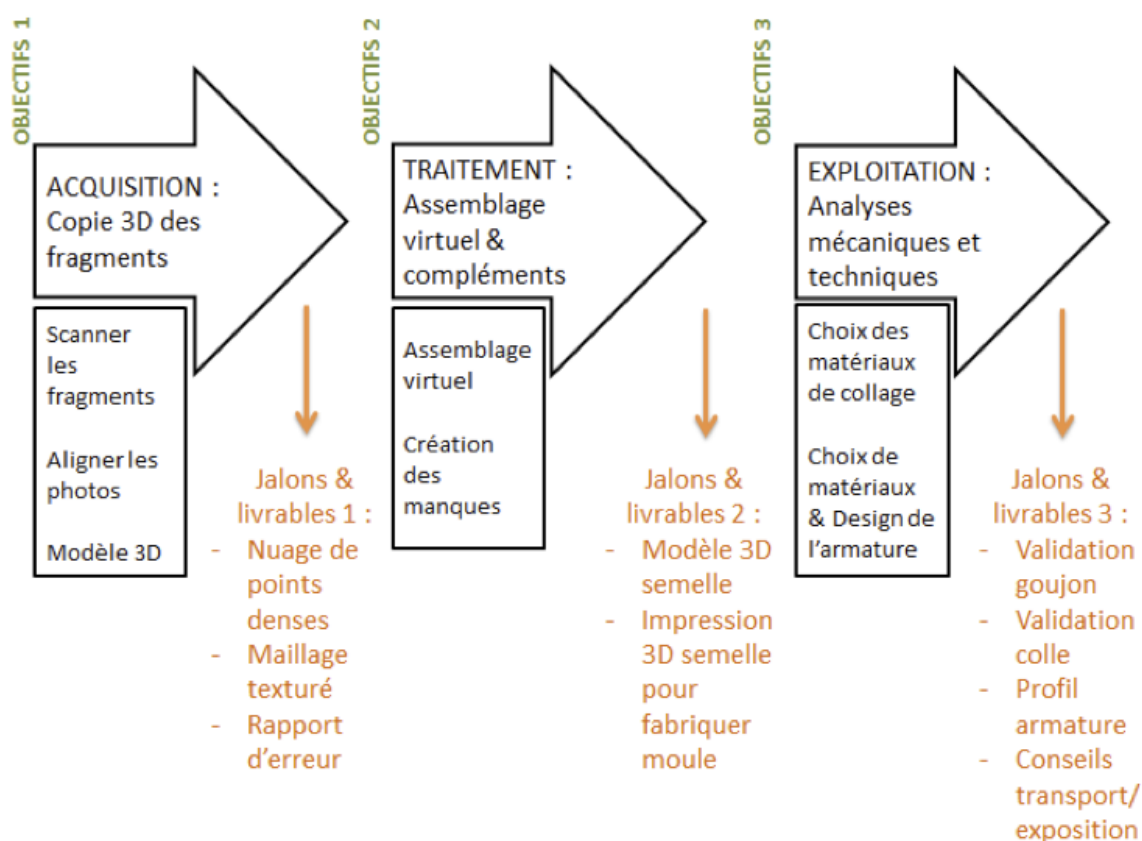


Figure 2 Étapes du rapport d'ingénierie sur l'étude mécanique par photogrammétrie. ©Anaïs Lechat.

Mode opératoire permettant la compréhension et l'évaluation du rapport d'ingénierie

Les différents objectifs, les trois grandes étapes ainsi que les jalons de l'étude mécanique sont détaillés ci-dessous.

Première étape : copie 3D précise de chacun des éléments statuaire

- Pouvoir manipuler virtuellement les éléments statuaire sans avoir à les déplacer en atelier.
- Avoir une trace de l'aspect des éléments statuaire avant restauration.

- Avoir un modèle 3D⁷ sur lequel faire des mesures précises servant aux calculs postérieurs d'ingénierie (géométrie exacte des fragments pour une meilleure précision des calculs).

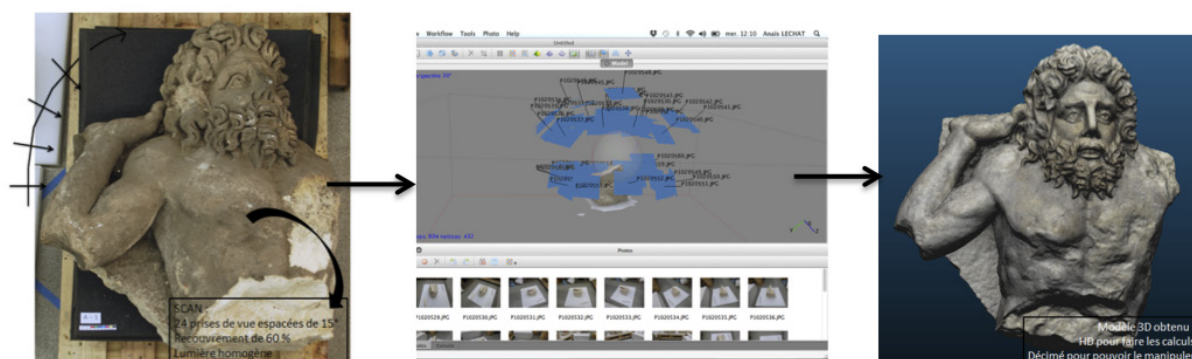


Figure 3 Prise photographique des fragments / numérisation des fragments / modélisation 3D.
©Anaïs Lechat.

Deuxième étape : reconstitution 3D de la sculpture

- Repérer la place dans l'espace et le positionnement des fragments entre eux.
- Anticiper les dispositifs nécessaires à la restauration : collage, calages, armature métallique.
- Évaluation des lacunes, proposition d'une semelle pour assurer la stabilité de l'ensemble (**fig. 4**).
- Evaluer l'importance du travail à effectuer (taille des manques).
- Préciser le positionnement des lacunes qui peut influencer le choix du matériau de comblement (poids à supporter, porte-à-faux...).

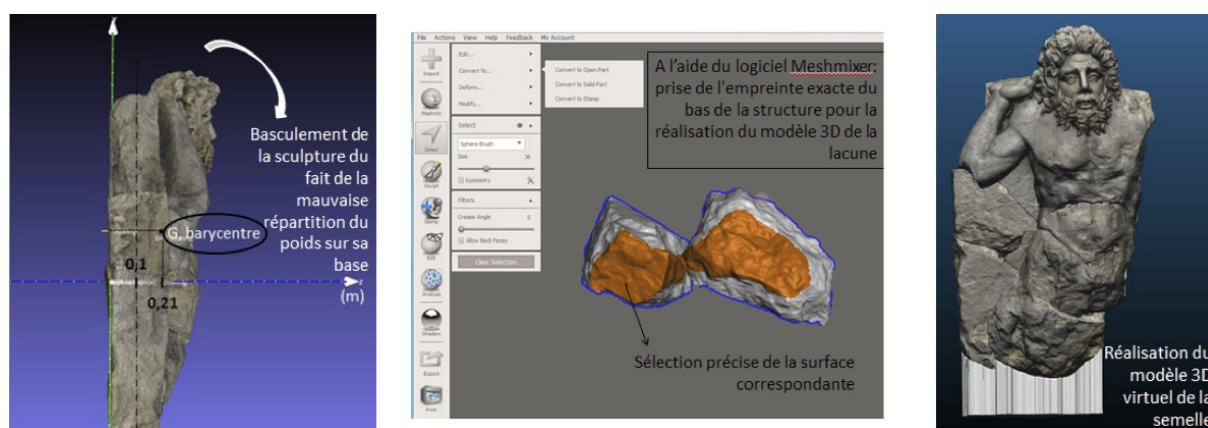


Figure 4 Calculs possibles à partir des logiciels photogrammétriques : calculs du barycentre / prise d'empreinte numérique / réalisation du modèle virtuel de la semelle. ©Anaïs Lechat.

⁷ Logiciel utilisé : CloudCompare.

Troisième étape : le choix des matériaux

- Choisir les matériaux pour le collage des fragments en fonction du poids des éléments surplombant l'interface à coller (contrainte de compression) et de l'angle d'adhésion (contrainte de cisaillement) (**fig. 5**).
- Evaluer la nécessité de goujonner, déterminer l'emplacement et les dimensions du goujon.
- Choisir le matériau du support qui résistera aux forces exercées par la bascule naturelle de la sculpture.
- Définir les zones de renfort nécessaires.
- Déterminer la forme et la taille des attaches métalliques et des poutres de retenue.
- Avoir un plan dimensionné de l'ensemble de l'armature, pour obtenir un modèle précis à présenter au technicien qui la réalisera (**fig. 6**).
- Anticiper les risques potentiels après restauration et lors de la mise en place de l'armature.

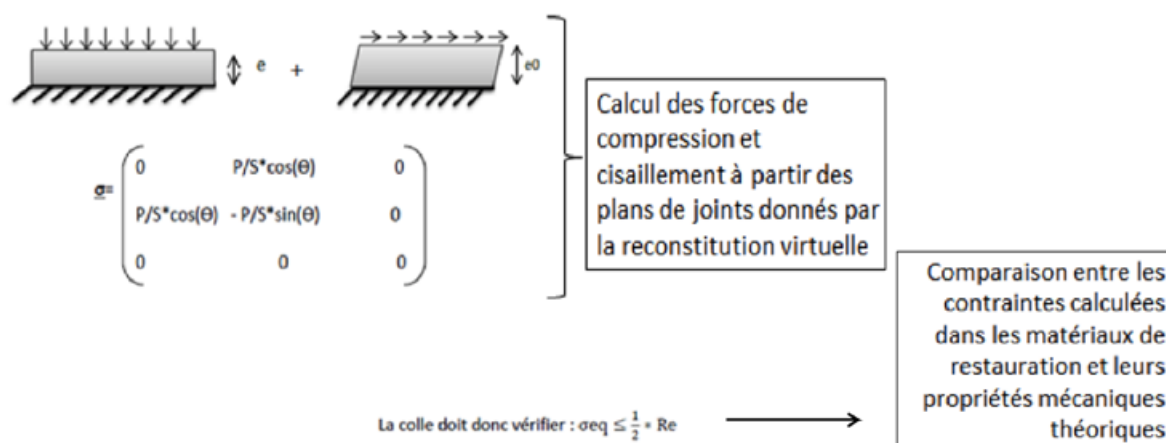


Figure 5 Calculs en vue de choisir l'adhésif le plus adapté au collage des fragments. ©Anaïs Lechat.

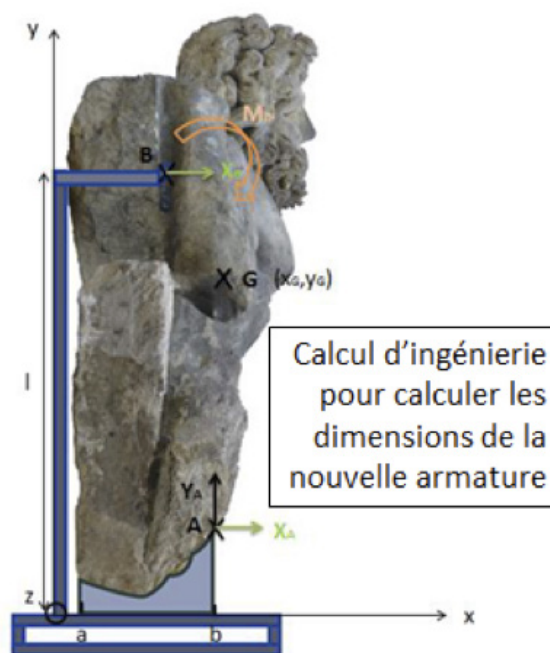


Figure 6 Simulation des dimensionnements de l'armature métallique. ©Anaïs Lechat.

- Vérification de la résistance du profil métallique retenant la sculpture (**fig. 7**).
- Prévoir les détériorations possibles de ce type de structure, souvent lourdes et encombrantes.
- Transmettre les consignes précises pour les manipulations, le stockage, le transport et l'exposition au public.

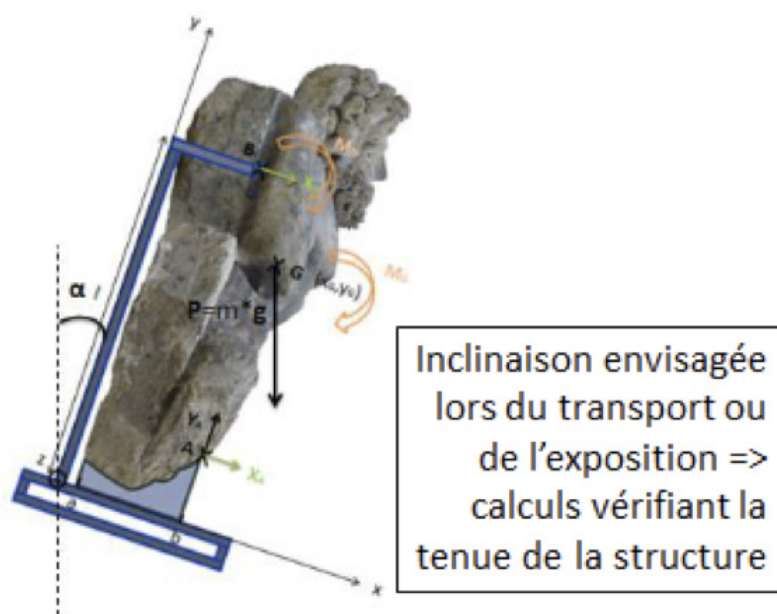


Figure 7 Évaluation des matériaux en situation transitoire.
©Anaïs Lechat.

Conclusion

L'étude mécanique réalisée avec les méthodes photogrammétriques nous a permis de valider le choix des matériaux et d'étudier les cas limites. ©©L'ingénieur travaillant à partir d'une géométrie précise de la sculpture, nous pouvons ainsi comprendre les enjeux mécaniques du montage de la sculpture et anticiper les risques. Nous prenons ainsi les dispositions optimales pour assurer la conservation de la sculpture et la sécurité des visiteurs du musée.

La photogrammétrie a participé à une meilleure communication entre les différents intervenants en charge de la sculpture. Le travail interdisciplinaire s'est révélé créateur d'innovations techniques et notre volonté est de poursuivre à l'avenir cette démarche professionnelle. Nous espérons que cette expérience pourra aider le restaurateur à mieux formuler sa demande auprès d'un ingénieur. Il est important également qu'un restaurateur puisse évaluer le rapport d'ingénierie, qu'il en comprenne les résultats et qu'il exprime un avis critique.

Références bibliographiques

Berger O., Piffaut C., Billard V. (2007), « Le soclage des œuvres en pierre, entre l'éthique et l'esthétique », *CORÉ - Conservation et restauration du patrimoine culturel*, n° 18, p. 14-17.

Berger O., Piffaut C., Tamborero L. (2006), « Conservation-restauration des biens culturels, Archéologie sous-marine et œuvres lapidaires sculptées monumentales : quand la conservation préventive passe par la présentation au public », dans *Mesures et analyses, regards croisés des conservateurs-restaurateurs et scientifiques, Méthodes actuelles de consolidation*, actes des XXII^{es} Journées des restaurateurs en archéologie (Toulouse, 12 et 13 octobre 2006), Paris, ARAAFU, (coll. Conservation-restauration des biens culturels - Cahier technique, 16), p. 58-66.

Cognard P. (2002), *Collage des matériaux-mécanismes. Classification des colles*, Ed. Techniques de l'ingénieur.

Corti G. (2014), « Modelling the failure mechanisms of Michelangelo's David through small-scale centrifuge experiments », *Journal of cultural Heritage*, n° 16, p. 26-31.

Down Jane L. (2015), « The evaluation of selected poly(vinyl acetate) and acrylic adhesives : a final research update », *Studies In Conservation*, Vol. 60, n° 1, Ottawa.

Gaborit J.-R. (1996), « Sculptures hors contexte », dans *Actes du colloque international* organisé par le musée du Louvre le 29 avril 1994.

Garcia Gomez I. (2011), *Le soclage dans l'exposition, en attendant la lévitation des objets*, Dijon, Office de coopération et d'information muséales.

Lechat A. (2015), *La mise en valeur des sculptures fragmentaires en matériaux pierreux dans un contexte muséal. Quand la conservation et la présentation impliquent le montage des sculptures*, mémoire de master en Conservation-restauration des œuvres d'art, spécialité sculpture / ENSAV La Cambre / Bruxelles.

Mouterde R., Fleury F. (2007), *Comprendre simplement la résistance des matériaux, la structure, principes et enjeux pour la conception*, Paris : Ed. Le Moniteur.

Piffaut C., Tamborero L. (2007), « D'Alexandrie à Paris; restaurer et déplacer le lapidaire monumental », *CORÉ - Conservation et restauration du patrimoine culturel*, n° 18, p.6-13.

Riccardelli C. (2014), « The treatment of Tullio Lombardo's Adam : a new approach to the conservation of monumental marble sculpture », *Metropolitan museum journal*, n° 49.

Susini H. (2007), « Retrouver l'intégrité formelle et structurelle des sculptures », *Technè*, n° 25, p. 64-68.

Les auteurs

Hélène Collomb étudiante en ingénierie mécanique et matériaux à l'École centrale de Nantes, helene.collomb@eleves.ec-nantes.fr.

Anaïs Lechat conservatrice-restauratrice diplômée ENSAV La Cambre (Bruxelles), spécialisée dans la restauration des œuvres sculptées, anaïs.lechat@live.fr.