



Cahier technique N° 27

XXXII^{es}

Spécialités et transversalités en conservation-restauration : quelles perspectives pour le patrimoine archéologique ?

**Actes des
Journées des restaurateurs en archéologie
Lyon, 29 et 30 novembre 2018**

JRA

**Lyon
2018**

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

ARAAFU

2021

CT N° 27

RELECTURE ET CORRECTIONS

Pascale Le Roy-Lafaurie
Silvia Païn
Caroline Relier

COUVERTURE

Silvia Païn

MAQUETTE ET MISE EN PAGE

Laurent Tournier

© ARAAFU, 2021

ISBN : 978-2-907465-32-5

Avant-propos

Spécialités et transversalités en conservation-restauration : quelles perspectives pour le patrimoine archéologique ?

Actes des XXXII^{es} Journées des restaurateurs en archéologie (Lyon, 29-30 novembre 2018)

Les XXXII^{es} Journées des restaurateurs en archéologie ont été organisées, à l'initiative de plusieurs collègues travaillant en tant que professionnels indépendants dans la région lyonnaise, avec l'appui de la délégation régionale Auvergne-Rhône-Alpes de la Fédération française des professionnels de la conservation-restauration (FFCR). Elles ont eu lieu à Lyon les 29 et 30 novembre 2018, couplées pour la première fois avec les Journées d'étude, de recherche et d'innovation (JERI).

Voici enfin les actes de ces Journées des restaurateurs, qui regroupent les contributions écrites relatives à la plupart des interventions. Ce volume comprend aussi un article qui aurait dû paraître dans le Cahier technique précédent, consacré aux actes des XXXI^{es} Journées des restaurateurs en archéologie, qui ont eu lieu à Nancy en 2017.

L'ARAAFU remercie chaleureusement les auteurs pour leur collaboration à cette publication.

Sommaire

Avant-propos

4 FRÉDÉRIQUE-SOPHIE TISSIER

Bloresin® : une alternative aux résines de coulée époxy et polyester ? À la recherche d'un matériau stable et transparent

10 ÉLODIE GUILMINOT, MANUEL LEROUX, AYMERIC RAIMON, CLÉMENCE CHALVIDAL

Projet collaboratif sur l'utilisation des gels pour le traitement des métaux. Démarche et fonctionnement

19 ETHEL BOUQUIN, MARINE CROUZET

Archeomed® : un modèle de regroupement pour les conservateurs-restaurateurs ?

29 CAROLINE MOTTAIS, THOMAS BRANCALEONI, HÉLÈNE BOUDIN

Le chantier des collections du « four Palissy »... l'affaire d'une équipe

45 LOUISE AMAND, ELSA DESPLANQUES

L'union des compétences dans le traitement du patrimoine archéologique

53 CAROLE ACQUAVIVA, EMMANUEL DESROCHES, GAËLLE GIRALT, LAURENCE KROUGLY, ASTRID MARÉCHAUX, MAGDA MONRAVAL

La dépose du pavement de Saint-Martin-d'Hardinghem : comment défier le temps et les éléments ?

65 MÉLODIE BONNAT

Reconstitution et restitution de la peinture monumentale des divinités avestiques d'Akchakhan-Kala, Ouzbékistan. Contribution des conservateurs-restaurateurs

82 LAURE MEUNIER, CHRISTOPHE MOULHERAT

Les coupes transversales des fils issus de textiles archéologiques : un apport de données non négligeable

92 FLORENT DUVAL, DELPHINE GILLOT

Découverte exceptionnelle à Cluny (71) : quand un trésor cache des trésors...

102 HENRI BERNARD-MAUGIRON, SOPHIE FIERRO-MIRCOVICH, FLORIANE HÉLIAS, EMILIE THOMAS

Patrimoine contaminé : conservons les restaurateurs !

115 NAÏMA GUTKNECHT, EDITH JOSEPH

La stabilisation de la corrosion active des objets archéologiques en alliage cuivreux avec *Beauveria bassiana*

123 CHARLOTTE REROLLE, THOMAS FAUCHER

Entre numismatique et restauration, une collaboration au travers du prisme de la formation *Coins conservation projects in Egypt*

133 ÉMILIE HEDDEBAUX, OLIVIER AGOGUÉ, VÉRONIQUE VERGÈS-BELMIN

Une restauration qui ne manque pas de sels : suivi des désordres du monument mégalithique de Gavrinis (Larmor-Baden, Morbihan), méthodologie et perspectives

BIORESIN® : UNE ALTERNATIVE AUX RÉSINES DE COULÉE ÉPOXY ET POLYESTER ? À LA RECHERCHE D'UN MATÉRIAU STABLE ET TRANSPARENT

FRÉDÉRIQUE-SOPHIE TISSIER

Résumé La recherche d'un matériau transparent et stable chimiquement pour réaliser la copie d'un vase romain en verre nous a amenés à tester une résine de coulée bi-composants hors classe toxicologique et en dehors de notre spécialité. C'est grâce à la curiosité d'un mouleur que nous avons pu remplacer une copie en résine époxy jaunie par un tirage incolore et transparent, plus conforme à l'original, dans un matériau peu connu en conservation-restauration mais largement utilisé dans le domaine des composants électroniques. Nous partageons ici notre démarche ainsi que les tests et les résultats obtenus avec ce matériau.

Mots-clés résine biosourcée, verre romain, copie conforme, transparence, résistance aux UV.



À l'occasion de la publication de la monographie consacrée aux fouilles de l'église de Bienne-Mâche (Suisse, Canton de Berne) fin 2016, le Service archéologique du canton de Berne a décidé de rénover la vitrine située sur son parvis. Dans cette dernière se trouvait la réplique, jaunie et peu lisible, d'un gobelet en verre d'époque romaine, dont l'original avait été découvert en 1975-76, lors des fouilles réalisées dans l'église. Ce remarquable récipient conique en verre incolore à pied appliqué (**fig. 1**) accompagnait la sépulture d'un officier romain du IV^e siècle après J.-C. inhumé dans un mausolée. Avec ses 22,8 cm de hauteur et près de 14 cm de diamètre, ce gobelet de taille inhabituelle, daté de la fin du II^e siècle après J.-C., a probablement servi lors de cérémonies où il devait être passé à la ronde. Son décor historié gravé représente un cortège de Bacchus mené par un centaure, tenant un thyrses d'une main et versant de l'autre à

Figure 1 Gobelet de Bienne-Mâche (BE, Suisse) en verre à décor taillé. © Service archéologique du canton de Berne.

boire à une panthère. Seuls quelques exemplaires de facture similaire, de provenance vraisemblablement égyptienne, ont été jusqu'ici répertoriés. Le plus proche par sa forme et son style est conservé au *Corning museum of glass* (USA) : son décor retrace la course d'Hippomène et d'Atalante. Le gobelet de Bienne-Mâche est, quant à lui, exposé au Nouveau Musée Bienne.

Dès 1976, la restauration du gobelet de Mâche a été confiée au Musée national suisse de Zurich qui en réalisa plusieurs copies en résine. Nous ne disposons d'aucune information sur la technique, les matériaux ou encore la date de fabrication de ces copies, mais avons constaté que toutes étaient jaunes, à des degrés divers. Tandis que l'une d'elles a été entreposée au Nouveau Musée Bienne, à l'abri de la lumière, une seconde a été exposée pendant de nombreuses années sur le parvis de l'église de Mâche à Bienne, dans la vitrine extérieure que nous souhaitions rénover. La résine de cette pièce, probablement époxy, s'est dégradée selon des processus physico-chimiques induits par les intenses variations climatiques et le rayonnement ultra-violet absorbé au cours des années : l'objet s'est opacifié, il présente une teinte jaune vif et les décors sont aujourd'hui illisibles.

Dès lors s'est amorcée une réflexion concernant le choix du matériau de remplacement de cette copie dégradée : il devait résister aux conditions d'exposition, difficilement modifiables, être incolore et transparent et, bien sûr, conforme à l'original.

L'avantage du verre moderne en conditions non-muséales est sa stabilité photochimique par rapport aux résines connues en restauration, amenées souvent à jaunir avec le temps, en dépit des progrès réalisés en sciences des matériaux. C'est donc l'option d'une copie en verre qui fut d'abord retenue. Plusieurs essais en verre soufflé et tourné à la volée, réalisés par le maître-verrier Thomas Blank de Bümpliz (canton de Berne), ont confirmé le très haut niveau de technicité requis pour réaliser un tel gobelet. La similitude des pièces obtenues n'étant pas suffisante, d'autres pistes verrières ont été étudiées, mais elles aussi abandonnées (coulée du verre dans un moule réfractaire ou encore verre soufflé dans un moule et gravure à main levée) pour cause de coûts trop élevés ou encore de délais trop longs.

Nous nous sommes ensuite tournés vers le *FabLab* de Bienne pour explorer la piste de l'impression 3D. Cependant, il est apparu qu'aucune résine de prototypage rapide n'offrait toutes les caractéristiques requises, notamment celles de la stabilité physico-chimique et de la transparence. La résine VeroClear® par exemple, bien que transparente et prototypable, se déforme à partir de 54 °C, température facilement atteinte en été. C'est toutefois grâce au contact avec le *FabLab* de Bienne que nous avons entendu parler pour la première fois de Bioresin®, utilisée régulièrement par une entreprise spécialisée dans le moulage et la muséographie, et basée près de Neuchâtel. C'est ainsi que nous avons envisagé un produit encore inconnu en restauration, mais utilisé dans l'industrie pour l'encapsulation des diodes électroluminescentes (LED).

Bioresin® est le nom commercial d'une gamme de polymères biosourcés produits et commercialisés par l'entreprise Sandtech AG (France), chaque produit de la gamme ayant ses caractéristiques propres de dureté ou de viscosité. Parmi cette gamme, le produit choisi par M. Jean-Daniel Renaud, de l'entreprise de moulage à Saint-Blaise (Suisse), est la résine Biothan 2MD 1785 N et son durcisseur Biodur M330. Il s'agit d'une résine de coulée sous vide produite à base de bio-polymères de caprolactones et d'oléo-polyoles (sorbitol et esters de tournesol). Selon la notice technique du fabricant, cette résine hors classe toxicologique permet un rendu transparent et stable dans le temps, car elle serait insensible aux UV. Pour tirer deux exemplaires de la copie, M. Renaud a réalisé un moule bivalve en plâtre à partir d'une des anciennes copies, dont il a pris l'empreinte avec un silicone RTV. De nombreux

essais ont dû être menés, en raison de la difficulté à couler un objet aux parois aussi hautes et fines. M. Renaud a réussi à produire les deux copies souhaitées en Bioresin® Biothan 2MD 1785 N, ainsi que deux copies supplémentaires en résine époxy, au cas où les premiers essais n'auraient pas abouti. La différence de teinte entre époxy et Bioresin® à la sortie du moule est flagrante (**fig. 2**).



Figure 2 Tirages en Bioresin® à l'arrière-plan et en résine époxy au premier plan.
© Service archéologique du canton de Berne.

Pourtant, bien que fidèles à l'original, les deux tirages en Bioresin® présentaient un aspect légèrement opaque, qui n'était pas complètement satisfaisant et, ce, en raison de la finesse des parois, mesurant moins d'1 mm par endroits. M. Renaud eut alors l'idée de passer une couche de vernis glycérophthalique en aérosol (Color spray, Dupli-Color®) sur la surface pour apporter un rendu plus transparent. Le résultat s'est révélé cette fois tout à fait satisfaisant (**fig. 3**).



Figure 3 De gauche à droite : copie ancienne exposée dans sa vitrine extérieure, copie ancienne la moins dégradée, copie neuve en Bioresin® non vernie, copie neuve en Bioresin® vernie. © Service archéologique du canton de Berne.

L'une de ces copies a été installée dans la vitrine extérieure près de l'église de Mâche, l'autre a pu remplacer une des anciennes copies du Centre des collections du Musée national suisse. Enfin, un scan 3D de la copie la mieux préservée a été réalisé en collaboration avec le *Switzerland Innovation Park* Biel/Bienne. Les données acquises au format STL constituent une sauvegarde numérique de l'objet : elles permettront peut-être à l'avenir d'imprimer des copies lorsque des matériaux stables et transparents existeront sur le marché, sans avoir à toucher à l'original, trop fragile et dont la surface brillante et transparente rend le scannage problématique.

La résine Biothan 2MD 1785 N et son durcisseur Biodur M330 n'ont, à notre connaissance, fait l'objet d'aucune étude ni publication en conservation-restauration. De plus, la couche de vernis apporte une strate de complexité supplémentaire à la question de la stabilité de la résine. C'est pourquoi il nous a semblé important de tester, dans la mesure du possible, ce nouveau matériau, afin de comprendre et de prévoir son éventuelle dégradation. Grâce aux nombreux ratés de moulage, et en collaboration avec le laboratoire du Centre des collections du Musée national suisse, des mesures de couleur ont été effectuées sur plusieurs échantillons de résine vernie et non vernie, à des endroits précis, afin d'évaluer un éventuel jaunissement ou une opacification au cours des prochaines années. Ces mesures de couleur, réalisées à l'aide du Spectrophotomètre Konica Minolta CM 2600 d (**fig. 4**), seront réitérées tous les cinq ans et comparées aux valeurs initiales de l'été 2017. On a pris soin également de documenter les conditions de stockage des échantillons.



Figure 4 Mesures de couleur sur l'un des tirages en Bioresin® à l'aide du spectrophotomètre Konica Minolta CM 2600 d, réalisées au Centre des collections du Musée national suisse © Service archéologique du canton de Berne.

Ensuite, un test de Oddy a été mené, toujours par le Centre des collections du Musée national suisse, afin de détecter d'éventuelles émissions de composés organiques volatils et avoir de cette façon un début d'idée sur la compatibilité de la résine vernie et non vernie en milieu muséal. Les résultats ont montré que la Biorésin® Biothan 2MD 1785 N non vernie avait passé avec succès ce test. À l'œil nu, aucune différence n'était notable entre les coupons métalliques témoins et les coupons enfermés avec les échantillons de résine pendant 28 jours à 60 °C

et 100 % d'humidité relative, d'après le protocole de Thickett et Lee du *British Museum*. Par conséquent, la résine non vernie pourrait être recommandée pour un usage permanent en contact avec des objets patrimoniaux. Pour l'échantillon verni, en revanche, les coupons de plomb et de cuivre ont réagi, mettant en évidence un possible dégagement acide. C'est donc un usage temporaire qui est recommandé en milieu muséal pour la Bioresin® Biothan 2MD 1785 N vernie. Il est intéressant de noter que le coupon d'argent n'a pas montré de changement visible, alors que du soufre à l'état de traces a tout de même été détecté par micro-XRF. Ces traces n'ont apparemment pas suffi à ternir le coupon en argent du test de Oddy. Pour l'échantillon non verni, aucune trace de chlore ni de soufre n'a été détectée par micro-XRF. Enfin, pour les deux échantillons, la différence de valeur de pH entre l'extrait aqueux et l'eau témoin s'est révélée négligeable, ce qui montre que le milieu n'a été ni acidifié ni alcalinisé après immersion des échantillons et agitation pendant 24 h.

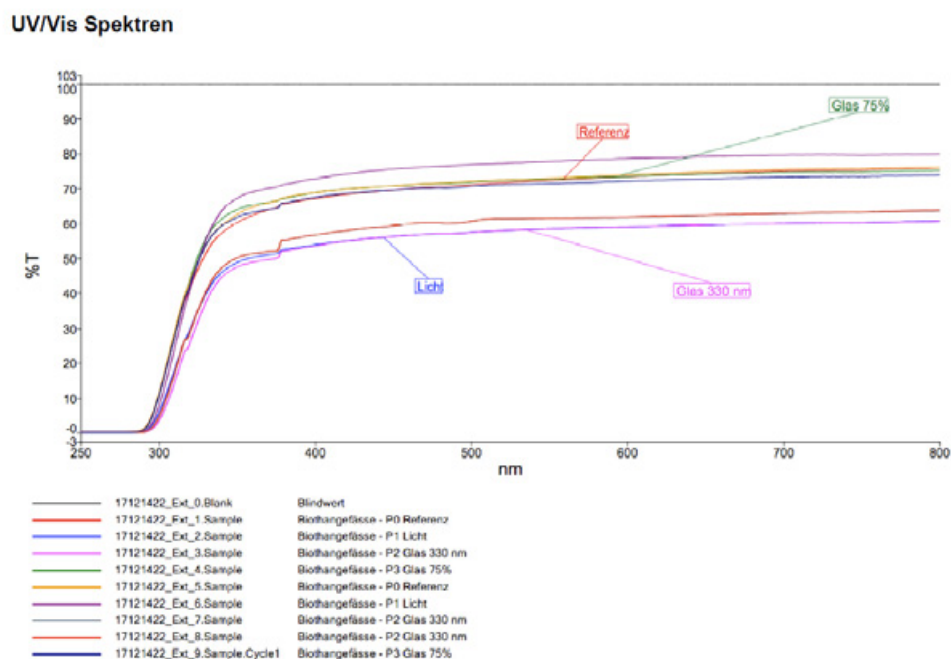


Figure 5 Spectres d'absorption des différents échantillons après vieillissement accéléré. En abscisse, les longueurs d'onde (nm) ; en ordonnée, la transmittance (%T) : on n'observe aucune différence notable par rapport aux courbes de référence non vieilles, en rouge et jaune. © Haute École des Arts de Berne

Des tests de vieillissement accéléré ont été menés à la Haute École des Arts de Berne, afin de déceler par des moyens spectroscopiques d'éventuelles modifications chimiques lors de conditions précises. Pendant 45 jours, plusieurs échantillons de Bioresin® vernie ont été soumis à différentes conditions climatiques, dont l'une simulait l'exposition à la lumière derrière une vitre en verre (40 °C, 75 % d'humidité relative), comme celle de notre copie exposée dans une vitrine extérieure. Les échantillons ont ensuite été analysés par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IR-TF, Perkin Elmer System 2000), et par spectroscopie ultraviolet-visible (spectromètre UV-Vis Perkin Elmer Lambda 650, résolution spectrale de 2 cm⁻¹). Dans chaque cas, deux mesures ont été effectuées. Les résultats ont montré une stabilité photochimique corroborant la résistance aux UV annoncée par le fabricant. En effet, les courbes de transmittance des échantillons sont très proches des courbes de référence, en rouge et en jaune (**fig. 5**). En revanche, par IR-TF après dérivation au soufre, des acides

primaires ont été détectés à 75 % d'humidité relative, matérialisés sur le spectre par une bande d'absorption à 1840 cm⁻¹. D'après Mr Zumbühl, de la Haute École des Arts de Berne, ces acides sont typiques d'une réaction d'hydrolyse, ce qui semblerait indiquer que la Biore-sin® vernie ne serait pas complètement stable en conditions humides. Cet aspect rejoint les recommandations d'usage temporaire qui découlent du test de Oddy mentionné plus haut, et mériterait certainement d'être examiné plus en détail.

Conclusion

Le remplacement de la copie altérée du gobelet de Bienne-Mâche représentait un défi technique : il fallait non seulement atteindre une conformité parfaite par rapport à l'original, tant du point de vue de son décor que de ses dimensions, mais aussi trouver un matériau capable de restituer l'aspect du verre romain, sa couleur et sa transparence. La question de la stabilité physico-chimique a pu être amorcée, même si des questions restent en suspens. Ce projet de rénovation de vitrine nous a menés sur des chemins de traverse : plusieurs pistes se sont présentées à nous et de nouvelles collaborations ont pu être mises en place entre mouleurs, scientifiques, archéologues, restaurateurs et verriers. Le choix d'une résine non testée représente certes un saut dans l'inconnu et suscite des interrogations vis-à-vis de sa stabilité, mais constitue également une opportunité de développer des techniques novatrices dans le domaine de la conservation-restauration du verre, pourquoi pas en alternative aux résines époxy et polyester comme matériau de comblement. Une étude approfondie de la Biore-sin® serait de ce point de vue plus que bienvenue.

Références bibliographiques

David R., Desclaux M. (2000), *Pour copie conforme - Les techniques de moulage en paléontologie, en pré-histoire et en archéologie historique*, Edition Serre, 322 p. (1992)

Eggenberger P., Ulrich-Bochsler S., Bossert M., Siegmund F., Tremblay L. (2016), *Vom spätantiken Mausoleum zur Pfarrkirche. Die archäologische Untersuchung der Kirche von Biel-Mett*, Bern, Archäologischer Dienst, 275 p.

Fünfschilling S. (2015), *Die römischen Gläser aus Augst und Kaiseraugst, Kommentierter Formenkatalog und ausgewählte Neufunde 1981-2010 aus Augusta Raurica*, Augst, Augusta Raurica.; 2 volumes. 708 pages.

Kaenel H.M. von, (1978), « Das spätrömische Grab mit reichen Beigaben in der Kirche von Biel-Mett BE », *Archäologie der Schweiz*, N° 4, p. 138-149.

Thickett D., Lee L. R. (1996/2004), *Selection of materials for the storage or display of museum objects*, London, British Museum, (coll. Occasional Papers, 111), 54 p.

L'auteur

Frédérique-Sophie Tissier Conservatrice-restauratrice, responsable de la section Conservation minérale, Service archéologique du canton de Berne, Brünnenstrasse 66, 3001 Berne, Suisse, frederique.tissier@erz.be.ch

PROJET COLLABORATIF SUR L'UTILISATION DES GELS POUR LE TRAITEMENT DES MÉTAUX. DÉMARCHE ET FONCTIONNEMENT

ÉLODIE GUILMINOT, MANUEL LEROUX, AYMERIC RAIMON, CLÉMENCE CHALVIDAL

Résumé Les cas d'objets métalliques nécessitant des traitements localisés sont nombreux et variés (objets composites, métaux argentés ou dorés, métaux peints, etc.) pour lesquels les gels peuvent offrir des solutions intéressantes. Bien que ces techniques soient développées dans d'autres spécialités comme la peinture ou la pierre, leurs utilisations restent anecdotiques dans le domaine des métaux. Suite à la présentation du potentiel des traitements par gel, notamment d'agar, aux Journées des restaurateurs en archéologie (JRA) 2017, le projet collaboratif « Gels Métaux » s'est constitué en janvier 2018.

Ce projet a pour but de rassembler des conservateurs-restaurateurs, indépendants ou d'institutions, des scientifiques et des étudiants autour des gels pour le nettoyage des métaux. Les différents membres sont intégrés en participant à un atelier dans lequel sont proposés, d'une part, une présentation théorique et pratique des principaux gels utilisés en conservation-restauration et, d'autre part, des échanges sur les pratiques actuelles et les besoins de chacun afin de déterminer des axes d'étude prioritaires. Dans cet esprit de collégialité, un espace collaboratif a été développé sur une plateforme internet permettant l'échange d'informations et de documents (fiche mémo, fiche retour d'expériences par exemple) afin de permettre une communication à distance.

Ce projet vise à mettre en commun nos connaissances et nos moyens afin de développer l'utilisation des gels pour le traitement localisé des métaux, mais aussi à favoriser le dialogue entre les différents professionnels de la conservation et de la restauration du patrimoine

Genèse du projet participatif « Gels Métaux »

Depuis plusieurs années, l'utilisation des gels s'est répandue dans le domaine de la conservation-restauration, en particulier dans le domaine de la peinture grâce aux travaux de Richard Wolbers (Wolbers, 2013). Les traitements par gel pour le papier ou la pierre connaissent aussi de belles réussites. En revanche, nos premières recherches bibliographiques nous ont permis de constater que le traitement des métaux à l'aide de gel reste anecdotique. Lors de la conférence *Gels in conservation* de Londres en octobre 2017, les seuls exemples présentés pour le traitement des métaux portaient sur le retrait d'un vernis d'une sculpture en bronze (Smith, 2017) ou sur les essais menés par une étudiante de l'Institut national du patrimoine (INP) pour le nettoyage de fibres textiles métallisées (Letrange *et al.*, 2017). Pourtant, l'utilisation des gels pour les métaux propose une alternative prometteuse, notamment pour les traitements localisés d'objets complexes et/ou composites. Dans ces cas, les gels devront répondre à de nouvelles conditions d'application et de compatibilité avec divers agents actifs

(solvants, complexants, solutions acides ou basiques). Ils devront aussi être d'une totale innocuité vis-à-vis des substrats métalliques.

Face à la demande grandissante des conservateurs-restaurateurs de métaux et à notre méconnaissance du comportement des gels, Arc'Antique a initié une collaboration avec le laboratoire italien CSGI¹, expert dans les gels utilisés en restauration (présentation de Rodorico Giorgi à la Journée ICOM Métal-France en janvier 2017) et une première étude a été menée à Arc'Antique par Andréa Dupke (étudiante INSA² Rennes) (Dupke, 2017). Les résultats obtenus lors de ce stage ont montré que la préparation des gels pouvait être optimisée, notamment pour les gels à base d'agar, puisqu'une préparation correcte permet de réaliser des gels « pelables », minimisant ainsi les difficultés de rinçage et de résidus. Ces nouveaux protocoles de traitement ont été validés lors du nettoyage d'un ensemble d'objets d'art islamique. Les résultats ont été présentés lors des JRA 2017 (Dupke *et al.*, 2017), créant un certain intérêt de la part de professionnels pour l'utilisation des gels appliqués aux métaux. De cet engouement est né le projet de recherche participatif « Gels Métaux » grâce à la collaboration d'un conservateur-restaurateur indépendant, Aymeric Raimon, d'un conservateur-restaurateur du C2RMF³, Manuel Leroux, et d'une scientifique du laboratoire Arc'Antique, Elodie Guilminot.

Le projet participatif

Le projet participatif « Gels Métaux » a pour objectif d'optimiser l'utilisation des gels pour le traitement des métaux du patrimoine. Il est ouvert aux conservateurs-restaurateurs, aux scientifiques et aux étudiants d'école de restauration ou de formation scientifique. Dans un premier temps, il nous a semblé nécessaire de développer nos connaissances sur les propriétés des gels les plus adaptés au traitement des métaux. Les gels actuellement sélectionnés sont les gels à base d'agar, la gomme gellane, la gomme xanthane, la colle de nerf, les gels à base d'alcool polyvinylique (PVA) et les gels développés par le laboratoire italien CSGI, dont certains sont commercialisés sous le nom de Nanorestore®. Cette liste n'est pas exhaustive et peut évoluer au gré des études et des tests menés par les membres du projet.

Les ateliers participatifs

Les ateliers participatifs permettent de rassembler les nouveaux membres afin de leur présenter le projet « Gels Métaux ». Plusieurs ateliers ont déjà eu lieu : le premier à Arc'Antique (Nantes) en février 2018 (**fig. 1.a**); le second au C2RMF (Paris) en septembre 2018 (**fig. 1.b**); puis un troisième également au C2RMF en décembre 2018. Le dernier atelier est programmé en février 2019 à Bordeaux. D'autres ateliers « Gels Métaux » sont aussi prévus avec les écoles de conservation-restauration, notamment les étudiants de l'école de Tours (ESBA⁴) et les étudiants du master de Paris 1 en janvier 2019, mais aussi avec l'INP⁵ pour l'année scolaire 2019-2020. Le nombre de participants à chaque atelier est limité à une quinzaine de personnes afin de favoriser les échanges.

¹ CSGI, Consorzio interuniversitario per lo sviluppo dei sistemi a grande interfase, (Florence, Italie) : <http://www.csgi.unifi.it/>

² INSA, Institut national des sciences appliquées : <https://www.insa-rennes.fr/>

³ C2RMF, Centre de recherche et de restauration des musées de France : <https://c2rmf.fr/>

⁴ ESBA, École supérieure des Beaux-Arts de Tours : <http://tours.esba-talm.fr/>

⁵ INP, Institut national du patrimoine : <http://www.inp.fr/>



Figure 1 Photographie des membres du groupe « Gels Métaux » ayant participé -
a : au premier atelier « Gels Métaux » en février 2018, à Arc'Antique (Nantes) ;
b : au deuxième atelier « Gels Métaux » en septembre 2018, au C2RMF (Paris).
© Elodie Guilminot / Arc'Antique.

Ces ateliers débutent par une présentation théorique des gels les plus utilisés en conservation-restauration et proposent des définitions et un vocabulaire communs. Puis sont présentés par les participants quelques exemples d'application de gels pour le traitement des métaux (ou des études de cas pouvant être transposées aux métaux). Ces présentations sont un moment d'échanges très enrichissants autour d'expériences réussies (ou pas) au cours duquel chaque participant peut intervenir pour compléter une donnée ou s'interroger sur une pratique.

Afin d'enrichir la théorie, une session pratique est ensuite proposée avec trois ateliers :

- préparation des gels;
- exemple de traitement chimique sur métaux;
- exemple de traitement électrochimique sur métaux.

Les participants peuvent alors mieux appréhender les potentialités des traitements par gels mais aussi leurs modalités d'application : facilité ou non de mise en œuvre, suivi possible ou non de l'avancement du traitement, efficacité du traitement, etc.

Suite à cette session pratique, un nouveau temps d'échanges est proposé pour présenter les outils collaboratifs mis en place dans le projet « Gels Métaux » et pour permettre à chaque membre de définir et de se positionner sur les axes d'étude qu'il juge prioritaires.

Les outils collaboratifs

L'outil principal de ce projet est un espace collaboratif, proposé sous la forme de site internet dont l'accès est réservé aux membres du projet. Ce site, hébergé par le service informatique du département de Loire-Atlantique, permet de rassembler toutes les données et les informations liées au projet, qui sont organisées dans des wikis ou des blogs (**fig. 2**).

Dans une partie du site figurent les dates importantes (dates des ateliers ou des réunions), le nom des membres et un blog dans lequel, par exemple, des articles détaillent l'avancement du projet ou présentent les participants.

Au centre de la page d'accueil sont présentées les informations sur les ateliers (fichiers des présentations, compte-rendu, photographies) et sur l'organisation du projet (rôle des différents membres, présentation des groupes d'étude avec le détail de leur état d'avancement).

À droite sont situés les wikis rassemblant les documents ressources du projet :

- les fiches mémos;
- les fiches retour d'expérience;
- la bibliothèque, avec différents articles de référence et des rapports d'étudiants.

Les fiches mémos (**fig. 3**) ont pour objectif de présenter de manière synthétique chaque gel : nom (usuel et/ou commercial), molécule, type de gel, protocole de préparation (avec si possible une référence), modes d'application possibles, exemples d'utilisation, compatibilité avec les agents chimiques et des compléments d'information utiles (comme des références bibliographiques). Ces fiches sont actuellement en cours de rédaction et peuvent être complétées par tous les membres.

Les fiches retour d'expérience (**fig. 4**) ont pour objectif de partager les traitements par gel réalisés sur des objets. Un modèle de fiche est disponible avec des propositions pré-remplies afin de permettre à un restaurateur de la compléter rapidement. Le document est organisé autour des rubriques suivantes : informations sur le praticien, données sur l'objet traité et sur le traitement appliqué (gel choisi, protocole, mode d'application, etc.), appréciation du traitement réalisé. Cette fiche permet à la fois de faire ressortir des problématiques et de favoriser le dialogue entre les scientifiques travaillant sur certains axes d'étude et les conservateurs-restaurateurs qui testent leurs propositions sur des objets. Les retours d'expérience permettent ainsi de faire progresser les axes de recherche.

The dashboard is titled 'planet GEL' and includes a navigation bar with 'Tableau de bord', 'Espace documentaire', 'Wiki', 'Blog', and 'Plus'. The main content area is divided into three columns:

- Left Column (Informations sur les membres et calendrier):** Contains a calendar for 2019, a list of members (Manuel LEROUX, Marie pierre LAMBERT, Marie-jeanne DUBOIS, Marie FAYS), and a list of events including 'Atelier du 8 Février 2019 au CAPC de Bordeaux' and 'Atelier Gel à Venise le 28 Mars 2019'.
- Center Column (Informations sur les ateliers et sur le fonctionnement du projet (groupes d'études)):** Features a photo of a group of people, a 'Proposition d'organisation' document, and a list of participants including 'Aymeric Raimon' and 'Camille Beziers'.
- Right Column (Ressources (Fiches et documents de référence)):** Contains a 'Fiches Mémo' list, a 'Fiche Retour d'expérience' document, and a 'Bibliothèque' section with various references.

Figure 2 Image du tableau de bord de l'espace collaboratif, site internet réservé aux membres du groupe « Gels Métaux ». © Elodie Guilminot / Arc'Antique.

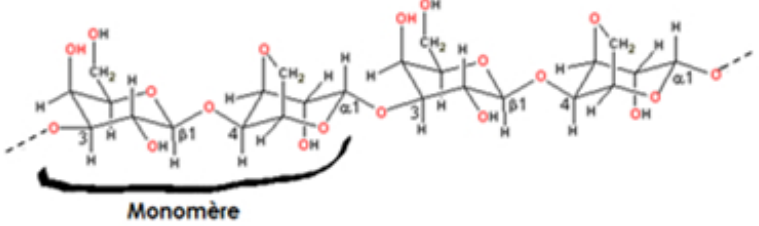
Définition Nom-usuel Nevek® – Fournisseur CTS® Molécule chimique Composition exacte inconnue – Polysaccharides provenant d'algues rouges®. Mélange d'Agarose et d'agaropectine. Préparer à partir d'AgarArt® (CTS) 5% avec en plus du 5% Propanol®.  Type de Gel Gel Physique. Structure en hélice au-dessus de la température de gélification (~80°C) Propriétés majeures Gel plus stable mécaniquement que l'Agar, stable à pH neutre, thermoréversible, peu de résidus	Informations sur le Gel (nom, molécule, propriétés)
Protocoles Préparation du gel Mélanger de 50% Nevek® dans la solution de traitement chauffée à 50°C, une fois le mélange translucide, chauffer à 80°C pour la gélification Mode d'application Application à chaud (avec une seringue) ou à froid en formant un film rigide de 2-3mm Compatibilité Domaine de stabilité de pH Gel stable aux pH neutre Composés compatibles Produits déjà testés... Exemples d'application Cas de traitement 1 Description objet®: Fusil provenant de la collection Pierre-Loti® Problématique de traitement®: objet composite, enlever le ternissement sur les parties en alliages cuivreux® Application®: Application à chaud du Nevek avec TAC (citrate de tri-Ammonium)® Résultats obtenus®: Nettoyage homogène et satisfaisant® Contact du restaurateur en charge du traitement®: Aymeric Raimon®	Informations sur la préparation et l'application du gel
Informations complémentaires Références bibliographiques Fiche CTS, Article JRA-2017-Andréa Dupke	Références pour données complémentaires

Figure 3 Exemple d'une fiche mémo, disponible dans l'espace collaboratif « Gels Métaux ».

© Elodie Guilminot / Arc'Antique.

FICHE RETOUR D'EXPERIENCE

Restaurateur

Nom, prénom :
Institut / statut :

Résumé du traitement

Raison(s) d'un traitement par gel :
Méthode :
Type(s) de composé(s) à éliminer :
Produit(s) actif(s) utilisé(s) :
Gélifiant / épaississant :

Objet traité

Photographies :

Photographie avant traitement	Photographie après traitement
-------------------------------	-------------------------------

Catégorie d'objet :
Provenance :
Typologie :
Matériau(x) :

Strate(s) à éliminer

Description stratigraphique :
Schéma / photographie.

Description de la (des) strate(s) à éliminer :

Traitement(s)

Protocole du traitement :
Choix du gélifiant / épaississant :

Appréciation du traitement

Décrire le résultat / appréciation du traitement selon les points suivants :

- Efficacité du dégagement : satisfaisant / insatisfaisant. Préciser pourquoi
- Visibilité / contrôle de la réaction
- Facilité du retrait : aisé / malaisé (résidus et / ou adhésion du mélange au substrat)

Figure 4 Modèle de fiche retour d'expérience, disponible dans l'espace collaboratif Gels Métaux. © Elodie Guilminot / Arc'Antique.

Axes d'étude et perspectives

À la suite de ces premiers ateliers, six axes d'étude ont été identifiés. Six groupes ont ainsi été définis de manière collégiale :

- l'étude des résidus : évaluation de la présence et de la dangerosité des résidus sur les surfaces traitées, développement de savoir-faire et d'outils pour optimiser l'application et le retrait des gels;
- l'utilisation des gels sur des métaux décorés : pour des objets métalliques dorés, argentés, étamés ou peints. Le traitement peut avoir pour but le retrait des produits de

corrosion (d'alliages cuivreux ou ferreux par exemple), des salissures ou des sédiments localisés sur ou sous des substrats particulièrement fragiles;

- l'étude de la compatibilité des gels avec différents agents chimiques (solutions acides, basiques ou complexantes) en fonction de leur concentration et de leur pH;
- l'impact d'un traitement par gel : évaluation de son efficacité en fonction de l'état de surface de l'objet (couche de corrosion compacte, poreuse et/ou fissurée), suivi de la profondeur et de la maîtrise du traitement;
- le développement de nouveaux gels pour les métaux : ces études sont menées par le laboratoire italien, CSGI, avec Rodorico Giorgi, et l'université de Neuchâtel avec Edith Joseph;
- l'utilisation des résines échangeuses d'ions : ce traitement ne fait pas appel à des gels mais ces résines sont souvent utilisées pour les mêmes problématiques. Il nous paraît donc intéressant d'étudier la potentialité de ces traitements et de les comparer aux gels.

Ces différentes études se limitent aux gels identifiés pour être les plus adaptés au traitement des métaux : l'agar, la gomme gellane, la gomme xanthane, le Carbopol® ou Pemulen®, les PVA et les colles d'origine animale (comme la colle de nerfs).

Les études menées par des membres du projet sont ouvertes à l'ensemble du groupe. Ainsi, les travaux d'Alban Gomez (étudiant de l'INSA Rouen accueilli pendant un stage de 5 mois à Arc'Antique en 2018) (Gomez, 2018) ont été présentés lors des ateliers et diffusés à l'ensemble des membres. Son travail a ainsi permis d'optimiser les protocoles de préparation des gels et de vérifier la compatibilité ou non de gels avec les agents chimiques (solutions acides, neutres ou basiques) ou avec des complexants, en évaluant le maintien ou la perte des propriétés des gels. Des traitements ont aussi été testés, comme le nettoyage de pièces de monnaie en alliage cuivreux argenté par application de gel d'EDTA pendant 2 heures (fig. 5). Ce premier test a confirmé la forte potentialité des gels d'agar pour le traitement de certains métaux archéologiques.



Figure 5 Exemple de traitement de nettoyage chimique par gel, mené sur une pièce en alliage cuivreux avec une argenture (traitement d'EDTA pendant 2 h avec un gel d'agar). © Elodie Guilminot / Arc'Antique.

Conclusion et perspectives

Le projet de recherche collaboratif « Gels Métaux » a été fondé suite à la présentation aux JRA d'octobre 2017 à Nancy sur le potentiel des traitements par gels appliqués aux métaux. Les premiers jalons de ce projet ont depuis été posés. Une structure et une organisation

originales ont été créées pour son bon fonctionnement. Après un an d'existence, près d'une soixantaine de personnes (professionnels et étudiants) sont inscrites à ce projet et la demande de participation est encore forte. Le nombre de participants contribue à l'enrichissement du projet par l'apport de données variées : bibliographiques, recherche fondamentale en laboratoire ou retour d'expérience sur des traitements. Outre cet intérêt scientifique commun, ce groupe permet également de réunir des professionnels du patrimoine trop souvent éloignés : conservateurs-restaurateurs, étudiants, corps enseignant, ingénieurs de recherche, instituts publics, privés et professionnels indépendants. Les ateliers participatifs produisent, peut-être sous l'effet d'un nombre limité mais varié de participants, un espace d'échange enrichissant, interactif et convivial.

Toutefois, en tant que projet collaboratif, le projet est amené à évoluer selon l'implication de chacun. Ainsi, chaque participant, à hauteur du temps et des moyens dont il dispose, peut apporter un élément de recherche dans l'objectif commun d'échanger, de confronter et d'enrichir nos connaissances sur les gels appliqués à la conservation des métaux.

Références bibliographiques

Dupke A. (2017) *Utilisation des gels pour le traitement localisé des métaux archéologiques et historiques*, rapport de stage de fin d'études, École d'ingénieur INSA Rennes, Arc'Antique, 45 p.

Dupke A., Raimon A., Guilminot E. (2017), « Nouvelles utilisations des gels à base d'agar pour le nettoyage des métaux », dans *D'hier à demain*, actes des XXXI^{es} Journées des restaurateurs en archéologie), Nancy, 12-13 Octobre 2017, Paris, ARAAFU, (coll. CRBC-Cahiers techniques, 26), p. 71-89.

Gomez A., (2018), *Utilisation des gels pour les traitements des métaux en restauration*, rapport de stage de fin d'études, École d'ingénieur INSA Rennes, Arc'Antique, 44 p.

Letrange A., Hourdet D., Guerrier J., Pons E. (2017) « Comparison of three hydrogels for cleaning tarnished silver threads using electrochemical treatment », dans Angelova et al., *Gels in the conservation of art*, publication de la conférence *Gels in conservation* 2017, London, England, éd. Archetype Books, p. 69-371.

Smith S. (2017), « Layer by layer : the removal of complex soiling on a collection of modern art bronzes using buffered pH-adjusted aqueous gels », dans Angelova et al., *Gels in the conservation of art*, publication de la conférence *Gels in conservation* 2017, London, England, éd. Archetype Books, p. 349-355.

Wolbers R. (2013) *Le nettoyage des surfaces peintes : méthodes aqueuses*, Paris, Eyrolles, 208 p.

Les auteurs

Elodie Guilminot Ingénieur de recherche, laboratoire Arc'Antique – GPLA (Grand Patrimoine de Loire-Atlantique), 26 rue de la Haute Forêt, 44300 Nantes, Elodie.Guilminot@Loire-Atlantique.fr

Manuel Leroux Chef de travaux d'art, filière Archéologie et Ethnographie, département Restauration, C2RMF (Centre de recherche et de restauration des musées de France), Pavillon de Flore, Porte Jaujard, 14 quai F. Mitterrand 75001 Paris, manuel.leroux@culture.gouv.fr

Aymeric Raimon Conservateur-restaurateur indépendant, aymericra@hotmail.fr

Clémence Chalvidal Conservateur-restaurateur indépendant, clemence.chalvidal@gmail.com

ARCHEOMED® : UN MODÈLE DE REGROUPEMENT POUR LES CONSERVATEURS-RESTAURATEURS ?

ETHEL BOUQUIN, MARINE CROUZET

Résumé De nombreux restaurateurs et de nombreuses restauratrices cherchent à se regrouper pour diverses raisons : rompre l'isolement, partager des frais, compléter leurs compétences etc. A travers nos deux parcours nous évoquerons diverses possibilités de regroupement que nous avons pu rencontrer, jusqu'aux deux entreprises dont nous sommes actuellement salariées et qui sont rassemblées sur un même lieu à Arles : Archeomed®.

Le statut de la profession de conservateur-restaurateur est souvent l'objet de questionnements individuels ou collectifs, de la sortie du diplôme à des débats d'envergure nationale comme on a pu le voir récemment avec la liste des métiers d'art.

C'est dans ce paysage varié des conditions d'exercice de nos métiers que nous avons choisi de vous présenter nos structures à la fois indépendantes et associées au sein d'un modèle économique et culturel original.

Cette communication a pour but d'évoquer divers types de regroupements de professionnels, qui ont pensé que se rassembler et mutualiser des connaissances et des moyens permettait d'être plus solides, et dans lesquels, nous, restaurateurs, nous avons pu trouver un équilibre :

- des professionnels du même secteur dans une structure unique
- des professionnels de différents secteurs dans une même structure
- des professionnels de différents secteurs dans différentes structures mais rassemblées sous un même chapeau.

À titre d'exemple, nous présenterons donc ici nos structures : Ipso Facto, société coopérative spécialisée dans l'archéologie subaquatique et sous-marine et la conservation-restauration ainsi que A-Corros, société comportant deux axes distincts et complémentaires : la conservation-restauration et l'expertise corrosion.

Nous exposerons aussi un autre type de structure, installée à Arles et dont nos deux entreprises respectives sont membres. Le Pôle Culture & Patrimoines¹ pilote une plateforme, dédiée aux acteurs de la culture et des patrimoines, qui offre un lieu de rencontres et de ressources, de formation, des espaces de travail et des outils de développement mutualisés, appelée Archeomed®.

Nous ferons enfin un point sur les avantages de ces regroupements, de la mutualisation, du travail collaboratif et transversal, et évoquerons les développements à imaginer.

¹ Créé en 2007, le Pôle est une structure dédiée à la promotion et au développement économique des acteurs des filières des industries créatives, culturelles et patrimoniales.

De l'un au multiple : vers le regroupement

Du restaurateur isolé au restaurateur en entreprise - exemples arlésiens

Ethel BOUQUIN, anciennement salariée d'un musée puis restauratrice indépendante, aujourd'hui employée-associée d'une SCOP : Ipso Facto

Au départ, en 2007, la société Ipso Facto a été créée pour postuler à un agrément permettant d'effectuer des fouilles archéologiques préventives subaquatiques et sous-marines. Pour cela, des archéologues spécialistes de plusieurs époques en archéologie navale étaient représentés, mais aussi des professionnels d'activités connexes comme le dessin ou la photo. Je suis entrée dès le début dans la liste de ces professionnels pouvant intervenir lors d'une prescription de fouilles, en tant que gestionnaire du matériel archéologique à la sortie de l'eau. Avec la fouille du chaland Arles-Rhône 3 en 2011, qui était une très grosse opération et qui a salarié une quinzaine de personnes pendant 7 mois, la SCOP s'est renforcée.

Par la suite, avec mon arrivée et celle d'une collègue spécialisée dans la photogrammétrie et la modélisation 3D, nous avons développé plusieurs pôles autour de l'archéologie. Aujourd'hui, Ipso Facto emploie 7 personnes répartis en 4 pôles :

- 1/ Archéologie (fouille, étude du bois, du marbre, géomorphologie) : 4 en 2018
- 2/ Photogrammétrie et modélisation 3D : 1 personne
- 3/ Conservation-restauration : 1 personne
- 4/ Administratif : 1 personne

La société est installée sur deux sites : le siège se trouve à Marseille, l'atelier de conservation-restauration et le bureau de trois autres salariés se trouvent à Arles, au sein d'Archeomed®.

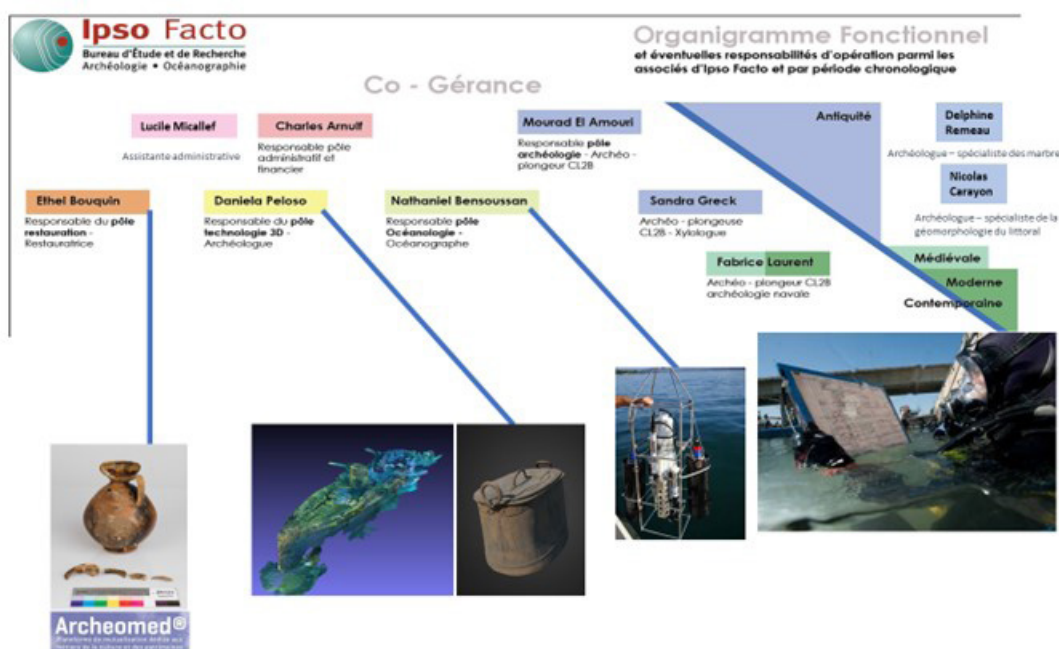


Figure 1 Organigramme fonctionnel d'Ipso Facto. © Ethel Bouquin.

J'ai fait le choix d'intégrer cette société en 2015. En effet, après avoir été en vacances pendant trois ans au musée départemental de l'Arles antique, puis avoir été à mon compte en auto-entreprise pendant cinq ans en alternance avec des missions salariées, j'ai ensuite intégré l'atelier de conservation-restauration dans les locaux d'Archeomed®. Mon activité étant lancée et comme j'avais des charges fixes comme l'atelier à payer chaque mois, j'ai souhaité changer de forme d'entreprise.

J'avais plusieurs possibilités et plusieurs critères :

- créer une entreprise individuelle;
- entrer dans une structure en tant que salariée, une structure « neutre » de portage salarial, qui s'occupe uniquement de l'aspect administratif, mais qui est *a priori* bien installée et résistante;
- ou encore m'associer à une structure plus petite, spécialisée, avec laquelle j'avais déjà des expériences : Ipso Facto.

J'avais eu diverses occasions de travailler avec mes collègues d'Ipso Facto, notamment lors de la fouille et du relevage du chaland Arles-Rhône 3 et j'étais déjà impliquée dans cette société puisque j'en étais sociétaire depuis 2009. Cela correspondait aussi aux mutations de l'entreprise qui s'ouvrait aux métiers connexes à l'archéologie. Il m'a donc semblé opportun de m'associer pleinement à cette société coopérative.

Les avantages que j'y trouve sont principalement d'être salariée, de faire partie d'un collectif solidaire, tout en conservant une autonomie importante.

Marine CROUZET, conservatrice-restauratrice salariée d'un GIP (Arc Nucléart) puis d'une SARL (A-Corros)

Conservatrice-restauratrice d'objets archéologiques, j'ai eu la possibilité de poursuivre mes stages au-delà de mon diplôme et de profiter ensuite d'un premier contrat à Arc Nucléart en tant que CDD. Ce poste s'inscrivait dans la continuité d'un projet de stage et d'équipe et des besoins du laboratoire à ce moment-là. Il a représenté ma première immersion dans le métier et correspondait à ce que j'en attendais du point de vue de l'organisation d'un projet de grande ampleur, du point de vue de l'échange avec d'autres restaurateurs de même spécialité et de même statut, tout comme du point de vue de l'échange avec d'autres spécialités (restaurateurs de sculptures, par exemple) et professions associées (scientifiques en conservation, régisseurs, conservateurs) autour d'un même domaine. Le GIP (groupement d'intérêt public) qu'est Arc Nucléart est ainsi un modèle de regroupement assez intéressant pour l'exercice de notre profession et avec un système de financement pluriel (ministère de la Culture, CEA, GIP).

Je suis entrée ensuite chez A-Corros en CDD puis en CDI. Chez A-Corros, la conservation-restauration est une partie intégrante de l'entreprise, mais au même titre que l'expertise industrielle, et la recherche porte sur ces deux pôles en les alimentant réciproquement.

A-Corros compte aujourd'hui (en 2018) huit personnes à son effectif dont trois restaurateurs, deux experts corrosion, un technicien mesures non destructives, une scientifique en recherche et développement et un administrateur.

A-Corros est donc une petite forme de groupement et de mutualisation : l'industrie et la recherche partagent en effet avec le patrimoine des outils et des équipements, tout comme des espaces de laboratoire ou des outils d'examens et d'analyse.

On peut aussi évoquer l'exemple parlant de la Pierre au Carré, une SCOP qui tourne autour de la pierre, de la fabrication à la restauration, et dont la restauration est devenue un axe majeur depuis qu'une restauratrice diplômée et précédemment à son compte a décidé de les rejoindre, alors que les deux entités étaient déjà membres du Pôle et résidentes de la plateforme Archeomed® en leur noms respectifs.



Figure 2 Organigramme d'A-Corros. © Marine Crouzet.

Les témoignages de regroupements incluant des restaurateurs sont donc nombreux et montrent aussi à quel point le restaurateur est un poste qui peut s'intégrer à des entreprises aux objectifs et aux activités diverses. On fait le même métier avec le même diplôme mais dans des entreprises dont ce n'est pas forcément l'activité principale et nous apportons ainsi une complémentarité à ces entreprises qui font aussi de la fouille archéologique, de l'artisanat ou de la recherche.

Archeomed®, du restaurateur dans une entreprise au regroupement d'entreprises comprenant des restaurateurs

L'idée de mettre en place un lieu de regroupement d'entreprises liées au patrimoine, notamment des restaurateurs, est née en 2009 et après divers rebondissements, de nombreuses réunions, etc., Archeomed® a fini par se concrétiser en 2015. Aménagé sur 2000 m², il est la vitrine du *cluster* et des filières des industries créatives et culturelles. L'espace est loué à un propriétaire privé, en périphérie de la ville.

À l'origine du projet : un besoin, une envie, un contexte : le projet est né pour répondre à la fois à un besoin (besoin d'espaces pour travailler, pour installer son entreprise) et à une envie : une volonté de regroupement à plus large échelle de différents acteurs du patrimoine sur un même lieu, projet porté par le Pôle Culture & Patrimoines créé en 2007.

Archeomed® est la plateforme de mutualisation du Pôle Culture & Patrimoines, *cluster* dédié à la mise en réseau et à la promotion des filières culture et patrimoines. Installée à Arles depuis janvier 2015, elle accueille une vingtaine d'entreprises membres du Pôle (entreprises,

associations, intermittents, indépendants) sous le statut de résidents, dans un objectif de coopération et de mutualisation au quotidien. Cela représente plus de 50 emplois installés dans des espaces privatifs de bureau et/ou d'atelier. C'est un ensemble de services, d'espaces et d'équipements mutualisés au service des professionnels : salle de réunions, de formations, espace de *coworking*, espaces de stockage, ateliers, équipements techniques, outils d'analyses de matériaux, machines numériques, appareil de manutention. C'est également un lieu dédié à la valorisation des métiers : accueil du grand public et des scolaires sur des moments dédiés (Journées du patrimoine, rencontres d'entreprises, Fête de la science...).

Un lieu et des valeurs partagées : Archeomed®, c'est donc d'abord des membres du Pôle, un lieu et des valeurs : la mutualisation, le partage, la solidarité. On le décrit souvent comme une immense colocation.

D'un point de vue structurel, les entreprises sont membres du Pôle et résidentes du lieu au même titre qu'une autre, quels que soient son effectif ou ses moyens. Il y a donc diverses entreprises sur un même site et toutes n'ont pas forcément rejoint le lieu pour les mêmes raisons.

On choisit souvent de la rejoindre pour des raisons pratiques, mais il est préférable d'en partager aussi l'esprit pour que la dynamique persiste. On y vient aussi attirés par la présence de collègues du même secteur ou complémentaires. Un dernier exemple en date : l'établissement de transporteurs spécialisés dans le transport d'œuvres, qui trouvent sur le site des clients potentiels, des constructeurs pour des caisses de transport, des restaurateurs pour faire des constats ou des préconisations. C'est une forme d'éco-système.

Le rapprochement d'entreprises diverses incluant des restaurateurs permet ainsi de regrouper de façon transversale les restaurateurs sans pour autant qu'ils soient mis en concurrence, car de spécialités différentes, ou interdépendants, car n'appartenant pas à la même structure administrative.

Archeomed® : un modèle de regroupement dans la culture et le patrimoine

Qui sont les entreprises résidentes ?

26 entreprises - entreprises, associations, intermittents, indépendants (en 2018) y déploient leurs activités dans les métiers de la création et du design, de la conservation et restauration, du spectacle vivant, de l'image, du diagnostic et de l'ingénierie, de la production de contenus multimédias, ainsi que de la médiation et valorisation du patrimoine. On pourra citer divers métiers tels que des tailleurs de pierre, des constructeurs de décors, un ébéniste, des designers, des monteurs de chapiteaux, des géophysiciens, des photographes, une médiatrice et une restauratrice de sculptures, deux sociétés de restauration de livres, un restaurateur de peintures.

Comment ça marche ?

La mutualisation intervient à plusieurs échelles. Chaque entreprise résidente (26 au total) doit être reliée par ses activités à la culture ou aux patrimoines (seuil parfois difficile à évaluer) et est membre du Pôle Culture & Patrimoines. En fonction des activités, un loyer est

dû, la présence n'est pas obligatoire, mais un lien au lieu est fondamental et s'accompagne donc d'une prise d'espace et d'un loyer. Ce loyer est calculé au prorata des surfaces utilisées et en fonction du type d'espace utilisé : atelier unique, atelier partagé, atelier passif (stockage), bureau seul, bureau partagé, labo commun, zones de *coworking*,... et en fonction de la durée de l'occupation : temps partiel, location brève durée, usage ponctuel, etc.



Figure 3 Vue de l'atelier d'Archeomed. © Pôle Culture & Patrimoines.

De la même façon, les charges et les équipements sont proportionnels aux usages, avec des frais fixes comme internet, imprimante, photocopieuse, alarmes, ménage, poubelles.

Le modèle économique est complexe mais permet à chacun de ne payer que ce dont il a besoin et quand il en a besoin. Cette flexibilité et cette modularité sont particulièrement utiles pour nos activités telles que le traitement ou la mise en bain d'objets de grands formats.

Pour la plupart des entreprises, il serait difficile d'avoir les moyens seul pour les espaces occupés et les équipements requis, d'autant plus que ceux-ci ne sont pas utilisés à temps plein. On est encore dans une logique d'économie solidaire du type du covoiturage. Pourquoi avoir chacun un transpalette et une perceuse si c'est pour quelques utilisations par an ? Être membre du Pôle offre l'accès à sa plateforme de mutualisation Archeomed®, qui permet de bénéficier d'un environnement performant et d'un lieu dédié à son développement. Archeomed® est un lieu de rencontres et de ressources, de formation (le Pôle détient un numéro d'agrément qui lui permet de proposer un ensemble de formations à l'attention des professionnels qui souhaitent améliorer leurs pratiques et développer leurs compétences). Le Pôle déploie un programme d'actions au service de ses membres : conseil, accompagnement, promotion, formation, animation, rencontres inter-entreprises...

Toutefois, les espaces sont considérés comme indépendants et chacun est libre de ses horaires, sans obligation de présence ; un planning collectif permet de prévenir des éventuelles visites

ou nuisances tout autant que des réunions ou des événements constructifs ou conviviaux. Pour que tout cela fonctionne en bonne harmonie, le Pôle – dont les bureaux sont présents sur le site – emploie un responsable du site qui s'occupe de la relation avec les résidents et de la maintenance du site. Une des missions du Pôle est de travailler également à l'animation du lieu, à l'accueil du grand public et des scolaires sur des moments dédiés (Journées du patrimoine, rencontres d'entreprises, Fête de la science...)

Et puis tout ce qui n'est pas directement professionnel se partage aussi, mais relève du mode de vie au quotidien : échanges, conseils, coup de main, convivialité à la cuisine, AMAP, covoiturage, etc.

Archeomed® : plus qu'une colocation, une communauté de valeurs

À force de partager lieu, outils, réseaux et valeurs, se crée de fait une communauté de personnes mais aussi un label, une institution : Archeomed® devient une personne juridique, paye, agit, organise, produit, au niveau local auprès des institutions comme des habitants. Et ce, au nom de tout le groupe.



Figure 4 Les Journées européennes du patrimoine en 2018. © Pôle Culture & Patrimoines.

C'est un peu comme une colocation dans laquelle les colocataires seraient également les syndics bénévoles de l'appartement et les animateurs du comité de quartier. À la différence d'une colocation où les conséquences d'un départ et la nécessité de son remplacement sont avant tout financières, chaque résident d'Archeomed® est un peu interactif voire interdépendant avec les autres. C'est une exigence tacite. Un engagement sous-tendu par l'adhésion au projet global. C'est pourquoi les résidents sont sollicités et participent au projet par des réunions administratives ou de fonctionnement ou des programmations d'animation ou d'événements plus ou moins professionnels.

Car, à la manière d'une grande entreprise, les résidents jouent aussi le rôle du comité d'entreprise, créent des événements en commun qui rapprochent les gens et s'ouvrent vers le public.

L'amour dure (depuis) 3 ans...

Ce qui fonctionne

La complémentarité des entreprises : on nous avance souvent le risque de la concurrence mais on pourrait décrire Archeomed® plutôt comme une collection qui se complète peu à peu et du coup attire pour remplir les créneaux vides (des ébénistes, des *designers* et des restaurateurs céramique, papier, métal, pierre, peinture).

Les échanges sont riches et dominant face à la compétition : on apprend des autres et on demande à apprendre, une banque de compétence qui appelle au partage permanent. Des échanges informels au quotidien, mais aussi des créations d'entreprises, de véritables partenariats officiels, des réponses à des marchés publics, davantage en binômes, pair à pair mais de façon multilatérale, croisée : restaurateurs ensemble, restaurateurs + photographe, restaurateurs + chimiste, restaurateurs et artisans, etc...

Conservateurs-restaurateurs et photographes, archéologue et experts, chimiste et artisan, ou parfois tout le monde ensemble peuvent se retrouver à travailler de concert pour un diagnostic multimatériaux, représentant ainsi un confort de groupement face à la rigueur des marchés publics, de notre point de vue (montage plus aisé du dossier) comme du point de vue du client (simplicité des échanges, des prises en charge, des visites).

La modularité et la flexibilité : une certaine souplesse est souvent requise et manquante dans l'exercice de notre métier et il est confortable de pouvoir compter sur un espace extensible et de ne pas limiter sa réponse aux appels d'offres ou aux demandes de devis à cause d'un manque d'espace ou de disponibilité de celui-ci.

La convivialité : voilà donc l'isolement et le confinement rompus en même temps : on n'est pas le seul restaurateur sur notre lieu de travail et on n'est pas que des restaurateurs sur notre lieu de travail. Au-delà des bénéfices professionnels quotidiens, il y a un avantage social et communautaire très agréable.

Des limites

On retrouve d'abord les inconvénients classiques de la colocation : si un problème survient dans le bâtiment, comme une panne de courant par exemple, tout le monde en pâtit et, si les équipements collectifs ne sont pas entretenus ou disponibles pour la collectivité, alors des conflits peuvent se produire. Il y a en effet une forme de tendance naturelle de chaque membre du groupe à se reposer sur le groupe alors que les responsabilités restent tout de même individuelles et il faut parfois le rappeler.

À l'inverse, pour ceux qui s'impliquent, tout à fait volontairement, Archeomed® prend beaucoup de temps, non compris dans notre calcul de métier initial, pas devisable bien que nécessaire pour le projet. Par conséquent, il arrive que se ressente une légère lassitude des seconds à l'égard des premiers, malgré des rappels à la solidarité de la part des animatrices salariées.

Enfin, on pourrait évoquer deux revers à cette convivialité dans le travail : tout d'abord, travail et cercle social deviennent très imbriqués, car nos relations de travail deviennent souvent des relations de confiance et d'amitié à force de partager des valeurs communes et des

journées dans un même espace. Il est donc difficile de pratiquer une réelle déconnexion du travail lorsqu'on retrouve ces mêmes amis en dehors d'Archeomed®. Ensuite, l'expérience commence à être victime de son succès : ça fonctionne, ça séduit et par conséquent le lieu devient trop étroit.



Figure 5 Vue du groupe initial à l'origine d'Archeomed. © Pôle Culture & Patrimoines.

Archeomed® n° 2, l'ancien site des Papeteries Etienne pour poursuivre le projet?

« Tout seul on va plus vite, ensemble on va plus loin »

C'est pourquoi un nouveau projet ou, plutôt, une prolongation de celui-ci a émergé dernièrement afin d'envisager le déménagement et l'extension du Pôle et de sa plateforme Archeomed® sur un lieu plus grand et, à cette occasion, dans des espaces construits sur mesure et davantage adaptés aux différentes activités et coactivités actuellement présentes.

Dans sa politique de développement économique, la Communauté d'agglomération Arles-Crau-Camargue-Montagnette a le projet de revitaliser le site des Papeteries Étienne, situé à Arles, aux portes de la Camargue. Elle a pour ambition de faire de ce site en reconversion un pôle d'attraction pour les filières créatives, culturelles et patrimoniales. En tant qu'outil central de promotion du territoire pour les filières culture et patrimoines, Archeomed®, la plateforme de mutualisation du Pôle Culture & Patrimoines, a toute sa place au cœur du projet.

Le travail est en cours avec la collectivité pour l'occupation de 4500 m² d'ateliers, de bureaux, d'espaces de vie et d'espaces partagés, dans une démarche de développement d'activités par la collaboration et la mutualisation.

Depuis fin 2017, un groupe de réflexions « ArcheoPapet' » s'est constitué au sein d'Archeomed® pour penser la future version de la plateforme de mutualisation. Ce travail s'inscrit dans une démarche d'optimisation de l'outil et de prospection visant à attirer de nouvelles entreprises des filières culture et patrimoines sur ce site.



Figure 6 Vue des Papeteries Etienne, probable futur lieu pour les résidents du Pôle Culture & Patrimoines. © Pôle Culture & Patrimoines.

Depuis 2018...

Les choses ont continué d'évoluer, les sociétés ont grandi (Ipso Facto a actuellement un effectif de huit personnes, A-Corros de neuf personnes), des collaborations sont nées entre certains résidents pour répondre à de nouveaux marchés.

Enfin, de plus en plus de collègues restaurateurs viennent utiliser les outils et espaces mutualisés pour certains de leurs marchés qui nécessitent du matériel spécifique ou un espace adapté : de nouvelles et belles rencontres qui tissent encore un peu plus de liens entre ces professionnels.

Les auteurs

Ethel Bouquin est diplômée de l'université Paris 1 et spécialisée dans la conservation-restauration du matériel archéologique et d'œuvres d'art en terre, verre, plâtre, en incluant la céramique et la mosaïque ainsi que les enduits peints. Après une grande expérience en indépendante en Italie et en France, elle appartient à l'antenne arlésienne de la SCOOP Ipso Facto basée à Marseille. Ipso Facto, Pôle économique et technologique Archeomed, 17 chemin du Séverin, 13200 Arles, ethel.bouquin@ipsufacto.coop

Marine Crouzet est diplômée de l'université Paris 1 et spécialisée dans la conservation-restauration du matériel archéologique et d'œuvres d'art en métal et objets composites. Après un passage à Arc Nucléart pour travailler sur des épaves elle a rejoint depuis 2016 l'entreprise arlésienne A-Corros. A-Corros, Pôle économique et technologique Archeomed, 17 chemin du Séverin, 13200 Arles, mccrouzet@A-Corros.fr

LE CHANTIER DES COLLECTIONS DU « FOUR PALISSY »... L'AFFAIRE D'UNE ÉQUIPE

CAROLINE MOTTAIS, THOMAS BRANCALEONI, HÉLÈNE BOUDIN

Résumé Le chantier des collections archéologiques de la réserve dite du « Four Palissy » (9 janvier au 5 mai 2017) a permis la collaboration de deux services du musée du Louvre – le service Histoire du Louvre (SHL) dont dépendent les collections archéologiques traitées; le service de la Conservation préventive (SCP) chargé de la coordination – et d'un groupement de prestataires externes. Il était composé de cinq conservateurs-restaurateurs, d'un archéologue, de trois documentalistes et de deux techniciennes de conservation.

Au total, 16 personnes sont intervenues comptant 9 métiers différents : conservateur, chargée d'étude documentaire, documentaliste, archéologue, régisseur d'œuvres, conservateur-restaurateur (spécialités arts du feu, métal, céramique et verre), technicien de conservation, préventeur. Ce chantier est un exemple de pluridisciplinarité au service du patrimoine archéologique.

Mots-clés archéologue, chaîne, chantier des collections, conservateur-restaurateur, conservation préventive, constat d'état, dépoussiérage, documentaliste, mobilier archéologique, fouilles du Grand-Louvre, Bernard Palissy, préventeur, régisseur d'œuvres d'art, technicien de conservation, unité stratigraphique, musée du Louvre, service Histoire du Louvre

Liste des abréviations

ACMH : architecte en chef des monuments historiques
C2RMF : Centre de recherche et de restauration des musées de France
DRAC : direction régionale des Affaires culturelles
EPGL : Établissement public du Grand Louvre
EPML : Établissement public du musée du Louvre
INP : Institut national du patrimoine
LRMH : Laboratoire de recherche des monuments historiques
SCP : service de la Conservation préventive
SHL : service de l'Histoire du Louvre

Introduction

Le service de l'Histoire du Louvre a mené en 2017 son premier chantier des collections sur le mobilier issu des fouilles du Grand Louvre, effectuées dans les années 1980. Son objectif était de réaliser un bilan sanitaire et scientifique d'une partie de sa collection archéologique conservée dans la réserve dite du « Four Palissy ».

Contextualisation et histoire des fouilles

Les fouilles du Grand Louvre

Les collections archéologiques ont été mises au jour sur les différents sites couvrant un domaine allant de la Cour Carrée au jardin des Tuileries. Elles reflètent l'évolution architecturale, urbaine et sociologique du palais, du quartier, de ses habitants et de Paris.

En 1984, décision est prise de réorganiser le Louvre (Trombetta, 1987). Un vaste projet s'étalant sur plusieurs années est engagé au cœur de Paris. La construction de souterrains, l'aménagement des locaux dédiés au personnel, l'amélioration des espaces d'accueil et de circulation des visiteurs et la réalisation de chantiers de fouilles font partie du programme de réaménagement complet de l'EPGL.

Les travaux s'étendent sur l'ensemble du domaine et modifient profondément son paysage. Il était indispensable de mener des chantiers de fouilles pour ne pas détruire définitivement de potentiels vestiges. Ce ne sont pas les premières fouilles menées sur le site du Louvre, d'autres ont été réalisées au XIX^e siècle, mais les premières d'une telle envergure (**fig. 1**).



Figure 1 Les fouilles du Grand Louvre (1983-1985). © Patrice Astier.

Menées par étapes, elles suivent l'aménagement des espaces du musée :

- le chantier de la Cour Carrée, mené de 1983 à 1985, a été dirigé par Michel Fleury, vice-président de la Commission du vieux Paris. Il a pris la forme de fouilles programmées afin de dégager les soubassements du Louvre médiéval et de permettre leur présentation.
- les fouilles de la cour Napoléon, menées de 1984 à 1986, furent une des premières grandes opérations d'archéologie préventive en milieu urbain. Menées par Yves de Kisch, directeur des Antiquités historiques d'Île-de-France et Pierre-Jean Trombetta, ingénieur d'études au ministère de la Culture, elles ont permis une meilleure

connaissance de l'évolution du tissu urbain et des modes de consommation, de production, à travers les ensembles clos.

- les fouilles du Carrousel, men     par Bruno Dufa   et Paul Van Ossel, se sont d  roul     en deux temps : de 1985 à 1987, puis de 1989 à 1990. Fouilles de sauvetage, elles ont permis entre autres d'enrichir les connaissances de la Lutèce gallo-romaine, du b     civil médiéval et du faubourg des xv   et xvi   siècles.
- enfin, les fouilles des jardins des Tuileries, men     en 1993 et dirig     par M. Trombetta, ont permis de mieux appréhender l'évolution spatiale et stratigraphique du jardin (Bresc-Bautier, 2016).

Depuis un arrêté d'affectation de 2000, ces objets sont g  r     par le SHL, qui en expose dans la salle Saint Louis du pavillon de l'Horloge (**fig. 2**).



Figure 2 Vue de la salle Saint Louis.    Lucie Cuquemelle.

Les lots trait     lors du chantier des collections sont principalement issus de ces quatre sites.

La vie post-fouille des collections

Les fouilles ont mis au jour un mobilier archéologique nombreux et varié, ainsi qu'une importante documentation li    . Rapidement s'  st pos     la question de leur stockage, encombrement et conservation.

Par manque de place et d'études planifi    , cet ensemble a souvent été déménagé d'un lieu à un autre. Une mauvaise conservation, les différents transferts et l'éparpillement des objets ont rendu difficiles le rassemblement des informations et leur mise à disposition à la communauté scientifique.

Depuis les ann     1990, une partie du fonds est conserv     dans la réserve dite du « Four Palissy ». Elle est situ     sous le Carrousel et abrite un four tuilier daté du xv   siècle (attribué à Aubin Poullart) qui, apr     avoir été abandonné, a connu une brève phase de remaniement et d'utilisation par Bernard Palissy, qui s'y installe au xvi   siècle (Dufa   *et al.*, 1987). Vid   de ses remblais, le four a été conservé *in situ* et descendu en réserve lors de l'aménagement des espaces du futur C2RMF (**fig. 3**).



Figure 3 Vue des fouilles d'un four de tuiliers (1986). © B.Descamps.

Réactualisation d'une collection

Le chantier apparaît alors comme une occasion de remettre à niveau une collection laissée en l'état depuis plusieurs années et d'actualiser les connaissances des fouilles, que le service n'avait les moyens ni matériels, ni humains de réaliser auparavant. En effet, le SHL s'est doté récemment d'un personnel plus important et a pu poursuivre le travail sur les collections archéologiques du musée. Il prend donc son sens dans un contexte plus général d'études, de valorisation des collections archéologiques et de rassemblement de la documentation.

C'est une reprise trente ans après du travail des fouilleurs, non pas sur du mobilier majeur, mais sur des lots archéologiques demandant des interprétations complexes d'identification, documentant l'histoire et les pratiques humaines.

Mener à bien une telle opération nécessite de comprendre les logiques de fouille des archéologues et de réunir une pluralité de connaissances et de compétences pour permettre la réappropriation de ces logiques.

L'expérience acquise pendant le chantier sert désormais les missions quotidiennes du service :

- un pré-récolement interne est actuellement mené sur des objets découverts en cour Napoléon. La vérification des numéros et l'enrichissement de la base de données s'appuient sur un cahier d'inventaire des zones et unités stratigraphiques, réalisé par les archéologues;
- une reprise des conditionnements du petit mobilier archéologique est également entreprise depuis deux ans en collaboration avec l'INP, grâce aux chantiers-écoles.

Réalisées dans l'optique du déménagement des collections du Louvre vers les réserves externalisées de Liévin, ces opérations sont l'occasion de réactualiser les pratiques, d'inventorier complètement et efficacement les collections et d'enrichir les notices d'œuvres de la base de données du musée.

Pluridisciplinarité

Aussi, le chantier a fait preuve d'une pluridisciplinarité opérationnelle; plusieurs acteurs ont été sollicités pour réaliser cette mission :

- le SHL, qui gère environ 90 000 items, dont plusieurs milliers d'objets et lots archéologiques découverts lors des fouilles du Grand Louvre. Il a pour mission d'assurer le suivi des travaux architecturaux, de valoriser et de documenter ces collections et de participer à des publications scientifiques. C'est un service qui collabore avec plusieurs structures internes au musée ou extérieures comme la DRAC   le-de-France, l'ACMH ou encore le LRMH;
- le SCP, transversal et pluridisciplinaire, est composé de régisseurs, préventeurs et conservateurs-restaurateurs travaillant en collaboration avec les départements du musée. Il gère les réserves externalisées, organise les chantiers des collections et possède un rôle de conseil sur les questions de conservation préventive;
- le groupement de professionnels de l'archéologie, de la restauration ou de la conservation préventive ayant répondu au marché public.

C'est également le fruit d'une pluridisciplinarité post-chantier, puisque celui-ci fait partie d'une volonté du service et du musée du Louvre d'étudier et de valoriser l'histoire des fouilles et de permettre de futures publications en collaboration avec des acteurs de ces chantiers, comme la DRAC (fig. 4).



Figure 4 Publications et collaborations.
   Paul Van Ossel.

Cette étroite collaboration se matérialise par la reprise et l'enrichissement des dossiers documentaires ou encore par l'inventaire des plans et dessins des différents sites de fouilles.

Le chantier des collections montre le souhait du service et de ses partenaires de combler les lacunes de cette documentation et des connaissances. Il est d'autant plus important de reprendre ces données que ces fouilles ont servi d'apprentissage à toute une génération d'archéologues et, ainsi, favoriser la mise en commun des pratiques et des métiers.

Le projet de réaménagement de l'EPGL a donné lieu à un des plus grands chantiers de fouilles en milieu urbain. Il a contribué à la naissance de l'archéologie préventive et a permis de sensibiliser l'opinion publique sur la nécessité de protéger et de valoriser le patrimoine archéologique parisien.

En mars 2019 aura lieu une intervention d'archéologues sur les fouilles menées dans les années 1980, à l'occasion d'un colloque au musée du Louvre sur les 30 ans de la pyramide.

Le chantier des collections

Le chantier a duré 4 mois à raison de 3 jours par semaine.

La proposition technique a été faite en réponse à un appel d'offre de type MAPA 4. Ce marché a été conçu sur la base d'une étude préalable réalisée par Arc'Antique. Cette étude, le marché public et la proposition technique du groupement mandaté par Caroline Mottais ont été réalisés par des **préventeurs**, titulaires du master 2 de Conservation préventive de Paris 1.

La chaîne opératoire est organisée en 3 étapes avec 2 postes de traitement pour chacune d'entre elles, avec en support technique documentaire la base de données MuseumPlus®.

À chaque étape les équipes pluridisciplinaires internes et externes travaillent en collaboration étroite afin de mener à bien les objectifs du chantier (**fig. 5**).

Suivi et traçabilité

Manutention et logistique

Le poste d'entrée de chaîne est placé au centre du chantier pour pointer l'ensemble des caisses et des sachets (**fig. 6**).

Le suivi et la traçabilité du chantier sont assurés par les équipes de **régisseurs d'œuvres d'art**. Leurs missions consistent à assurer le prélèvement, le suivi, la traçabilité des collections tout au long de la chaîne opératoire ainsi que leur manutention et leur conditionnement.

Cela passe par la création des nouveaux numéros de caisses et de palettes (numérotation de type PAL 0000 à l'infini / BAC 0000 à l'infini) et par la création d'outils de correspondance (anciens et nouveaux numéros) du sachet à la palette. Mais aussi, en fin de chantier, ils assurent la vérification du contenu des bacs en pointant les sachets

Marquage et étiquetage des contenants

Les numéros d'US inscrits sur les sachets ou étiquettes sont vérifiés et reportés sur les nouveaux sachets en suivant la logique du nouveau format de numéro. Les **documentalistes** (DOC) effectuent un contrôle de la concordance du contenu des caisses d'origine avec leur étiquetage.



Figure 6 Le pointage des collections en début de chaîne de traitement.
© Hélène Boudin.



Traitement scientifique des données

Les **documentalistes (DOC)** sur ce chantier ont suivi des formations en Histoire de l'art et Histoire avec un niveau Bac + 4 au moins. L'une d'entre-elles, de formation **archéologue et conservateur-restaurateur**, est le référent scientifique qui répond aux questions d'identification des matériaux et de niveaux d'altération.

Documentation

Les deux postes de **DOC** interviennent sur des typologies de matériaux différentes, en veillant à éviter toute confusion dans le classement et le reconditionnement du mobilier.

Le mobilier est traité par palette, par caisse, par matériau et par sachet, en suivant l'ordre de l'ancienne numérotation, qui concordait avec le classement par unité stratigraphique (US). Dans la base de données, des notices documentaires sont renseignées pour chacune des US passées sur le chantier, que ce soit un lot ou une unité (**fig. 7**).

Les champs suivants ont été remplis : Numéro d'inventaire par US, Dénomination, Description (le cas échéant), Nombre d'éléments dans le lot, Matériaux, éventuellement Technique, Poids et mesures (le cas échéant), Numéro du bac et de la palette de destination.

Bilan : 12886 fiches traitées (6218 : métal; 4794 : terre crue, terre cuite, porcelaine, faïence, fritte; 2280 : pierre; 1036 : enduit, plâtre, stuc, mortier; 863 : os, bois de cerf, coquillage, crâne, griffe, nacre, corne, éponge, fossile, etc.; 241 : verres; 74 : bois; 38 : carbone, cendre; 5 : matériaux organiques indéterminés, fibres).



Figure 7 La documentation des lots suivant les unités stratigraphiques. © Hélène Boudin.

Prise de vue

Deux postes de prises de vue sont associés aux binômes documentaires. Les **régisseurs** ont réalisé la couverture photographique du mobilier par US, en suivant une méthodologie systématisée (objets classés, étiquettes anciennes et nouvelles, tare et fond gris). Leur indexation, sauvegarde, enregistrement dans la base de données sont faits au fil du chantier

Interventions de conservation

Les **conservateurs-restaurateurs (CR)** sont issus de la formation de l'INP ou de Paris 1, avec des spécialités correspondant aux collections traitées (arts du feu et mobilier archéologique). Les **techniciennes de conservation (TC)** sont titulaires de la mention complémentaire *Entretien des collections du patrimoine*, du lycée Corvisart –Tolbiac.

Les constats d'état et les rapports d'intervention sont rédigés par les **CR** sur la base de données.

Constats d'  tat

Compte tenu du volume des collections, seuls les objets sensibles et en danger (corrosion active, efflorescences salines, moisissures, *crizzling*, desquamation, etc.) ont été constatés. Ils sont isolés après la documentation et mis de côté pour être constatés par un **CR** par spécialité (**fig. 8**).

Bilan : 1446 constats (1261 : métal; 101 : verre – dont les *cryzzl  s*; 56 : céramiques; 30 : bois)



Figure 8 L'ensemble des lots fait l'objet d'un constat d'état par des conservateurs-restaurateurs.    H       Boudin.

Dépoussiérage des collections

Le dépoussiérage approfondi du mobilier conservé hors caisses, dans des caisses cassées ou hors sachets, est réalisé par les restaurateurs **CR** ou **TC**, au pinceau et par micro-aspiration pour ceux présentant un bon état de conservation de surface.

Le dépoussiérage du mobilier présentant un état de surface fragile (altération évolutive, enduits peints ou dorés) a été fait exclusivement par les **CR**. Il a été fait au pinceau, sans aspiration (fig. 9). Également, les **CR** ont effectué celui des matériaux spécifiques comme les verres (tri des fragments et dépoussiérage) et les bois suspectés de moisissures (micro aspiration et vaporisation d'éthanol).



Figure 9 Séances de dépoussiérage (a : pour les lots « verres »; b et c : pour le lapidaire). © Hélène Boudin.

Interventions d'urgence

Peu d'interventions d'urgence ont été pratiquées par les **CR**. Elles ont consisté à coller des éléments dissociés, faire des consolidations, des refixages de soulèvements de surface, du retrait de traces d'anciens adhésifs.

Nettoyage - dépoussiérage des contenants

Les boîtes Curver® sont aspirées et nettoyées au chiffon microfibras humidifié par les **TC** et les **CR** (fig. 10). Les caisses cassées sont remplacées par le même modèle ou d'autres plus adaptés (dimensions, solidité). Bilan : 686 bacs anciens et 1078 bacs en fin de chantier (fig. 11).



Figure 10 Une démarche écoresponsable, le nettoyage et dépoussiérage des anciens bacs réutilisables. © Hélène Boudin.



Figure 11 La réserve (a : avant le chantier; b : après le chantier).
© Hélène Boudin.

Conditionnement par US

Les **DOC** ont proc       au remplacement, voire à la duplication, des sachets anciens (sales et cass    , trop pleins), soit plus de 12886 sachets (**fig. 12**).



Figure 12 Une collection mieux prot       et plus accessible à Caroline Mottais.

Pour les objets fragiles, les **TC** ont pr       des sachets garnis d  une feuille de mousse poly         1 mm (verres, coquillages, os, enduits peints et dor    ), ainsi que des calages sur mesure en caisse ou sur palette pour les moyens et gros formats (briques, lapidaire) (**fig. 13**).



Figure 13 Conditionnements sur mesure des collections sensibles et fragiles.    H       Boudin.

Conclusion

Nous avons ici tenté de vous montrer en quoi ce chantier des collections archéologiques a mobilisé les compétences de corps de métier complémentaires. Celui-ci a été une réussite malgré sa complexité, son ampleur et la rudesse du contexte. Il n'aurait pas pu aboutir sans l'implication de chacun.

Rythme d'avancement journalier	Bilan du chantier
274 fiches documentées	12886 fiches traitées
14,3 anciens bacs traités	1446 constats
22,5 nouveaux bacs créés	1078 bacs
30 sachets constatés	65 palettes dont 17 de lapidaire
274 photos	246 jours/h de chantier (prestataire extérieur)

Figure 14 Tableau statistique. © Hélène Boudin.

Au-delà des compétences professionnelles de chaque corps de métier, ce sont aussi les qualités humaines des intervenants qui entrent en jeu pour mener à bien ce type de projet.

Ainsi nous voulions remercier personnellement l'ensemble des acteurs de ce chantier qui ont fait équipe : Néguine Mathieu (conservateur du patrimoine), Sophie Picot Boquillon (chargée d'études documentaires), Lucie Cuquemelle (régisseur d'œuvres d'art), Camille Martin (stagiaire), Raphaëlle Chevallier (conservateur-restaurateur arts du feu), Agnès Gall-Ortlik (conservateur-restaurateur arts du feu), Mélanie Parmentier (conservateur-restaurateur arts du feu), Fabrice Rubiella (conservateur-restaurateur arts du feu), Hélène Huysseune (archéologue – conservateur-restaurateur mobilier archéologique), Isabelle Decise (documentaliste), Josephine Lavirotte (documentaliste), Nathalie Vialaron (documentaliste), Noémie Altmeyer (technicienne de conservation), Lou Elissade (technicienne de conservation).

Références bibliographiques

Fouilles du Grand Louvre

Anonyme (1992), « Archéologie au Grand Louvre, Les fouilles des Jardins du Carrousel », *Bulletin de la Société préhistorique française*, tome 89, N° 6, p. 166-167.

Bonis A., Deloffre V., Dufaj B., Martin G. (1987), *La forme d'une ville : les fouilles archéologiques de la cour Napoléon et du Carrousel*, monographie, s.l.

Bresc-Bautier G. (dir.) (2001), « Le quartier du Louvre au XVII^e siècle », dans Bresc-Bautier G., Kisch, Y. de, Trombetta, P.-J. (dir.), *Archéologie du Grand Louvre*, Paris, Réunion des musées nationaux, 206 p.

Bresc-Bautier G. (dir.) (2016), « Fouilles au Louvre et aux Tuileries », dans Bresc-Bautier G., Fonkenell G. (dir.) *Histoire du Louvre*, vol. III, Paris, Louvre Éditions, p. 163-169.

Dufaj B., De Kisch Y., Poulain D., Roumegoux Y., Trombetta P.-J. (1987), « L'atelier parisien de Bernard Palissy », *Revue de l'art*, N° 78, p. 33-60.

Fleury M., Kruta V. (dir.) (1994), « Le Louvre des rois : De Philippe Auguste à François I^{er} », *Les dossiers d'archéologie*, N° 192, p. 2-87.

Fleury M., Kruta V. (éd. mise à jour en 2000), *Le Château du Louvre, Guide et Monographie*, Dijon, Éditions Fatou, 2000, 96 p.

Fournié P. (dir.) (2012), *La demeure médiévale à Paris*, Exposition présentée au musée des Archives nationales - Hôtel de Soubise, Paris (du 17 octobre 2012 au 13 janvier 2013), Paris, Somogy éditions d'art, 293 p.

Lebrat J. (1991), « Chroniques Grand Louvre », *Journal d'information de l'EPGL*, N  1, p. 1-12.

Trombetta P.-J. (1987), *Sous la pyramide du Louvre... 20 siècles retrouvés*, Monaco,   ditions du Rocher, 80 p.

Fouilles de la Cour Carrée

Babelon J.-P. (1984), « La cour Carrée du Louvre, les tentatives des siècles pour maîtriser un espace urbain mal défini », *Bulletin monumental*, T. 142, N   1, p. 41-82.

Flcury M. (1984), « Les fouilles de la Cour Carrée du Louvre », dans *Le Grand Louvre, Monuments historiques*, N   136, p. 1-6.

Fouilles de la cour Napoléon et du jardin du Carrousel

De Kisch Y., Trombetta P.-J. (1984), « Paris : Fouilles archéologiques du Grand Louvre, Cour Napoléon », *Chroniques, Bulletin monumental*, T. 142, N   3, p. 319-322.

Trombetta P.-J. (1984), « Paris : Fouilles archéologiques du Grand Louvre, cour Napoléon », *Chroniques, Bulletin monumental*, T. 142, N   4, p. 443-444.

Trombetta P.-J. (1985), « Paris : Fouilles archéologiques du Grand Louvre, cour Napoléon », *Chroniques, Bulletin monumental*, T. 143, N   2, p. 158-160.

Van Ossel P. (dir.) (1994), « Grand Louvre, Les fouilles du Grand Louvre : sous les jardins du Carrousel », *Les dossiers d'archéologie*, N   194, p. 2-91.

Van Ossel P. et al. (1998), *Les jardins du Carrousel (Paris), De la campagne à la ville : la formation d'un espace urbain*, Paris,   ditions de la Maison des Sciences de l'Homme (coll. Documents d'archéologie française, 73), 379 p.

Van Ossel P. (1990), *Fouilles des logis de la cour des Suisses, Fouilles des jardins du Carrousel, Rapport intermédiaire*, établissement public du Grand Louvre, mars 1990.

Fouilles du jardin des Tuileries

Dufay   B. (1985), *Zone 42 : premiers sondages Tuileries, Fouilles archéologiques de la Cour Napoléon, Rapport préliminaire*, établissement public du Grand Louvre, août 1985.

Trombetta P.-J. (1998), *Les fouilles du jardin des Tuileries 1993, Rapport préliminaire*, établissement public du Grand Louvre, décembre 1998.

Chantiers des collections, mobilier archéologique, conservation préventive

ARAAFU (  d.) (1992), *La conservation préventive, actes du 3   colloque de l'ARAAFU*, Paris, ARAAFU, 321 p.

Collectif (2003), « Musées en chantier », *Musées et collections publiques de France*, N   238, 2003/1, p. 5-50.

DMF (2008), *Le chantier des collections*, Paris, DMF, (coll. Mus  ofiche, 8), 3 p.

Berducou M.-C. (dir.), *La conservation en archéologie*, Paris, Masson, 1990, 469 p.

Coutancier B., Kissel E., Serena-Allier D., Vallée G. (2003), « Pour le chantier permanent ! Inventaire et récolement : un retour d'expérience / Museon Arlaten », *Musées et collections publiques de France*, N   238, 2003/1, p. 5-18.

Deyber D. (2010), « 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  s Journées des restaurateurs en archéologie, Montigny-le-Bretonneux, 26-27 mars 2009), Paris, ARAAFU, coll. CRBC - Cahiers techniques, 18), p. 54-62.

Guillemard D., Laroque C. (2     d. 1999), *Manuel de conservation préventive : gestion et contrôle des collections*, Dijon, DRAC Bourgogne, OCIM, 75 p.

Le Dantec N., F  au E. (2013), *Vade-mecum de la conservation préventive*, Paris, C2RMF, 46 p.

Pa  n S. (2015), *Manuel de gestion du mobilier archéologique. Méthodologie et pratiques*,   ditions de la Maison des sciences de l'homme, (coll. Documents d'archéologie française, 109), 233 p.

Les auteurs

Caroline Mottais Diplômée des masters de Paris 1 de CRBC en 2010 et de Conservation préventive en 2015, Caroline Mottais exerce en indépendante depuis 2011. Caroline travaille régulièrement pour les collections publiques et, notamment, dans le cadre de chantiers des collections. Elle a notamment participé aux chantiers des collections pour le département des Antiquités grecques, étrusques et romaines et le département des Antiquités égyptiennes au musée du Louvre. Elle a aussi restauré des collections archéologiques pour le musée des Antiquités nationales et l'établissement public Bibracte. Elle partage également un atelier à Paris avec trois collègues de spécialités différentes où elle traite plus particulièrement des collections particulières. Atelier CROA, 13 rue Georges Auric, 75019 Paris, caroline.mottais@yahoo.fr

Hélène Boudin Diplômée du master 2 de Conservation préventive de Paris 1 en 2015, Hélène Boudin a intégré le service de la Conservation préventive du musée du Louvre cette même année. Elle a mené des recherches sur les vitrines du département des Arts de l'Islam du Louvre et y est intervenue en tant que chargée de chantiers des collections préalables au déménagement des collections en réserves externalisées et comme conseil en conservation préventive. Service de la Régie des collections, musée d'Archéologie nationale et domaine de Saint-Germain-en-Laye, helene.boudin@culture.gouv.fr

Thomas Brancaloni Diplômé en Histoire, Médiation du patrimoine et Régie des collections, Thomas Brancaloni a intégré le musée du Louvre en 2016. Après avoir travaillé au sein du service de la Conservation préventive et du département des Antiquités grecques, étrusques et romaines, il a rejoint le service de l'Histoire du Louvre. Thomas intervient en tant que régisseur d'œuvres chargé des chantiers des collections, de l'adressage et du suivi des œuvres pour le Centre de conservation de Liévin. Il gère des collections très variées (photographies, serrurerie, maquettes, lapidaire du palais des Tuileries...) en collaboration avec de nombreux acteurs internes et extérieurs. Service de l'Histoire du Louvre, musée du Louvre, Porte des Arts, 75058 Paris Cedex 01, thomas.brancaleoni@louvre.fr

L'UNION DES COMPÉTENCES DANS LE TRAITEMENT DU PATRIMOINE ARCHÉOLOGIQUE

LOUISE AMAND, ELSA DESPLANQUES

Résumé La conservation-restauration de l'objet archéologique fait partie intégrante des études pluridisciplinaires autour de l'objet archéologique. Les fonctions du conservateur-restaurateur en archéologie ne sont pas précisément définies et sont souvent très variables. Présenter ses missions et leur importance dans le cadre de l'étude des objets issus de fouilles semblait un point important. L'objectif de cette communication, présentée lors des Journées des restaurateurs en archéologie 2018, était d'exposer un état des lieux de la première campagne de fouille du site d'Ablis et de montrer comment la présence du conservateur-restaurateur sur le chantier permet d'optimiser la réflexion concernant la conservation des objets dès leur sortie de terre pour ne pas perdre d'informations. Cela se fera d'après deux exemples : la chaîne opératoire mise en place lors de la fouille d'un sanctuaire gaulois à Ablis (78) et la restauration post-fouille des fibules issues de la nécropole du Plessis-Gassot (95) au Service départemental archéologique du Val d'Oise (SDAVO, 95).

Mots-clés conservation préventive, restauration, archéologie, sanctuaire gaulois, fibules, épée, fer, organique, interdisciplinarité.

L'étude de l'objet archéologique est pluridisciplinaire : sa restauration et sa conservation s'insèrent dans ce rapport interdisciplinaire. Les fonctions du conservateur-restaurateur en archéologie ne sont pas précisément définies et sont souvent très variables. Présenter cet aspect omniprésent dans le métier de conservateur restaurateur semble d'autant plus important. L'objectif de cette communication, présentée lors des Journées des restaurateurs en archéologie 2018, était de montrer comment le travail conjoint des archéologues, restaurateurs et autres acteurs du patrimoine permet d'optimiser le traitement de l'objet. Cela se fera en deux temps : il s'agit d'abord d'exposer un état des lieux de la première campagne de fouille d'un sanctuaire gaulois à Ablis (78). Nous verrons comment la présence du conservateur-restaurateur sur le chantier peut optimiser la réflexion concernant la conservation des objets dès leur sortie de terre, pour en extraire le maximum d'informations. Le second exemple concerne la restauration post-fouille des fibules issues de la nécropole du Plessis-Gassot (95) au Service départemental archéologique du Val d'Oise (SDAVO, 95).

La fouille d'Ablis

Les opérations archéologiques sont menées à Ablis dans les Yvelines (78). Suite à un projet d'aménagement, un diagnostic a été prescrit par Bertrand Triboulot, ingénieur d'étude au service régional de l'Archéologie (DRAC Île-de-France) et mené sur le terrain par Fabrice Brutus (INRAP). Le site a livré une vingtaine de fragments d'épées apparemment abandonnées

dans le fossé d'un sanctuaire celtique daté du III^e s. av. J.-C. Compte tenu de la rareté de ce type de découvertes, un programme triennal de recherche a été lancé par Nathalie Ginoux, maître de conférences à Sorbonne Université. Clotilde Proust, conservateur-restaurateur au musée d'Archéologie nationale, était responsable de la mise en place de la chaîne opératoire de conservation du mobilier issu de la fouille et de sa prise en charge. La fouille a également pour objectif d'être un chantier école et une opportunité de formation pour les étudiants en archéologie et en conservation-restauration. C'est dans ce cadre que Louise Amand (master 1 Conservation-restauration des biens culturels à Paris 1) et Julia Sribny (master 2 d'Histoire de l'art à Paris 4) ont été affectées à la conservation préventive du mobilier, sous la direction de Clotilde Proust, afin de faire l'expérience de la mise en pratique de stratégies de conservation sur les problématiques d'altération des ferreux, exposées ici. L'équipe était donc essentiellement composée d'étudiants en Archéologie de l'université Paris 1 et de Sorbonne Université, ainsi que d'historiens de l'art, d'archéo-géologues et d'historiens. Le chantier d'Ablis est un chantier-école : la sensibilisation de toutes les personnes présentes aux différentes étapes de traitement de l'objet était un aspect pédagogique très important (fouille, traitement et enregistrement des objets).

Un des objectifs scientifiques de cette fouille est de mettre en place une chaîne opératoire autour de l'objet archéologique, de sa sortie de terre sur le chantier jusqu'aux réserves, prenant en compte, dès la fouille, la conservation de l'objet. Au-delà de la préservation de l'intégrité de l'objet, il s'agit donc de mettre les nouvelles technologies au service de réflexions pluridisciplinaires afin de conserver l'ensemble des informations potentiellement présentes sur les objets. La chaîne opératoire mise en place a été conçue spécifiquement pour le matériel découvert à Ablis, principalement des armes en fer.

Les sanctuaires gaulois

Les sanctuaires celtiques analogues que nous connaissons – comme Ribemont-sur-Ancre (80) et Gournay-sur-Aronde (60) – ont livré une très grande quantité d'armes sacrifiées. Les armes et fragments d'armes retrouvés suggèrent des mises en scène spécifiques. Ces objets ont pu être sacrifiés (certains portent des traces de coups, d'autres sont pliés) avant d'être accrochés à une palissade en bois maintenue par une levée de terre. Nous avons très peu d'informations sur la manière dont étaient suspendus les fourreaux et les épées, s'ils étaient exposés puis décrochés et jetés dans le fossé, ou bien s'ils tombaient naturellement après l'altération des liens qui les maintenaient en place. Par ailleurs, même si cela n'a jamais été observé dans des sanctuaires celtiques, nous savons que certains dépôts dits sacrificiels pouvaient être emballés dans des matériaux organiques. Sur ce nouveau site d'Ablis, nous espérons pouvoir étudier les dispositions originales des armes dans le sanctuaire, et éventuellement les manipulations dont elles ont été l'objet avant leur dépôt.

Le rôle du conservateur-restaurateur

L'apport du restaurateur est directement lié à ces problématiques, à travers l'étude d'une partie des restes organiques, qu'il s'agisse de bois de la palissade, de cuir du fourreau ou des liens de suspension des armes. Par ailleurs, l'étude des types de cassure du métal permettrait de proposer des hypothèses quant à la manière dont les armes parvenaient au sol et dont elles étaient sacrifiées. Si certaines épées montrent des déformations courbes, qui indiquent

clairement qu'elles ont été tordues, d'autres présentent des déformations plus rectilignes, susceptibles d'avoir été causées par les pressions du milieu d'enfouissement.

L'étude de la corrosion des épées est également un point important : cela permettra de tenter de déterminer si les armes ont été sacrifiées, puis accrochées à la palissade, ou si elles ont été jetées directement dans le fossé après le sacrifice. Les aspects à étudier sont la corrosion elle-même, mais aussi les faciès et les phases de corrosion, c'est-à-dire la stratigraphie de la corrosion. En effet, si l'objet a été accroché puis jeté dans le fossé par la suite, il y aura plusieurs phases de corrosion selon les différents milieux (suspension à l'air libre, enfouissement dans le sol). La formation de produits de corrosion résulte de la réaction du métal avec l'oxygène de l'air et du sol. Le fer se combine avec l'oxygène de l'air et de la terre, et tend vers la minéralisation. Lors de la sortie de l'objet, il faut savoir s'il reste du métal sain ou non, ce que l'on détermine à l'aide d'un aimant. En effet, si c'est le cas, la corrosion peut reprendre, et c'est à ce moment qu'il est important d'intervenir, notamment pour pouvoir conserver les informations contenues dans la corrosion. Un choc ou un coup de truelle au moment de la fouille peut suffire à relancer la corrosion en amenant de l'oxygène au métal sain. Il s'agit donc ici de conservation préventive : nous allons essayer de limiter le rôle de l'air et de l'eau dans le processus d'altération.

L'objectif est de mettre en place une chaîne opératoire directe, qui sollicitera l'objet le moins possible et permettra d'atténuer le changement brutal qu'il subit en passant d'un milieu pauvre en O_2 et très humide à un milieu riche en O_2 et sec. Il faut limiter les altérations liées au climat (température et humidité relative). La prise en charge rapide du mobilier dès la sortie de fouille est cruciale car les objets s'adaptent mieux aux variations douces. De plus, l'objet s'adapte à son nouvel environnement pendant les quarante-huit heures suivant le changement de milieu. Il est également important de limiter les chocs pour éviter un trop grand nombre de cassures fraîches ou autres altérations qui en découlent.

Un des avantages de la présence du conservateur-restaurateur sur le chantier est la possibilité de mettre en relation la nature du sol et l'état de conservation des objets. Des études géomorphologiques sont actuellement en cours et permettront d'approfondir cette réflexion. La présence du restaurateur sur le chantier permet aussi d'avoir une chaîne opératoire adaptée non seulement aux types de mobilier découverts (métal, organique, céramique) mais aussi au contexte d'enfouissement et donc au sol (Proust, 2007; Païn, 2015).

La chaîne opératoire

L'observation et l'étude des restes organiques répondent à une attente scientifique importante. Il était donc important qu'il n'y ait ni reprise de corrosion ni de produits consolidants sur les objets. Deux observations majeures ont permis d'adapter la chaîne opératoire au mobilier : la nature du sol et la nature des matériaux découverts. Le sol d'enfouissement est un limon, un sol acide qui en séchant va entraîner de grosses tensions sur l'objet et risquer d'entraîner des fissures et des fractures. L'essentiel des objets découverts est constitué de fer très minéralisé et fragilisé (Brutus, 2014). Il a donc fallu être particulièrement précautionneux vis-à-vis des objets, que ce soit au moment de la fouille, du prélèvement ou du conditionnement.

La fouille

La fouille du fossé a été effectuée en premier lieu à la pelle mécanique par un conducteur habitué à travailler sur les chantiers de fouilles : cela lui permet d'adapter son travail aux attentes des archéologues. Un sol travaillé ne se restructure jamais de la même manière et le conducteur de pelle sait discerner les irrégularités géomorphologiques sur le terrain.

Chaque passe effectuée à la pelle mécanique était précédée d'une détection au détecteur de métaux manié par une personne habilitée et détentrice d'une autorisation préfectorale. Cette méthode non-invasive a permis d'être plus précautionneux à l'approche des objets et d'éviter les chocs et les arrachements (à la pelle mécanique, à la pioche ou à la truelle). L'usage du détecteur de métaux a également permis de guider la fouille. En effet la nature des sols ne permettait pas d'identifier visuellement le fossé : c'est la localisation des armes qui en donnait les limites.

Le détournage et la consolidation *in situ*

Le fossé a été fouillé par passes de 10 cm et par carrés d'un mètre de côté. Les objets mis au jour et détournés au bâtonnet de bois étaient laissés en position, géolocalisés et leur pendage relevé, avant que la surface fouillée ne soit relevée. C'est à ce moment, ou lors du prélèvement, que la consolidation *in situ* des cassures fraîches, intervenues pendant la fouille, est réalisée. Il s'agit d'un geste préventif pour éviter l'effritement de la cassure et donc la perte des connexions et l'éparpillement des fragments. De plus, la cassure implique un point de contact de l'oxygène vers le métal.

Afin d'indiquer le pendage de l'objet dans le fossé et de documenter le contexte de celui-ci, un point d'acrylique était appliqué sur la face exposée vers le ciel de l'objet. Cela permet par exemple de mettre en relation les altérations de l'objet et le contexte, ici les pressions du milieu d'enfouissement.

Protection *in situ*

Comme les objets étaient laissés en place sur le site, souvent plus d'une journée, la protection *in situ* était nécessaire, d'abord pour éviter le séchage du limon qui risquait d'entraîner de grosses tensions sur l'objet et des fracturations. Il fallait aussi protéger l'objet de la lumière, du changement de température et d'humidité relative. Pour cela, nous avons utilisé des couvertures de survie pour protéger les grands objets, du papier aluminium pour les plus petits ou encore des sacs remplis de terre fraîche pour servir de matériau tampon. Les objets étaient également régulièrement humidifiés. Enfin, la couverture de survie et l'aluminium ont permis de s'assurer que les objets étaient bien visibles sur le site pour éviter les écrasements involontaires. Lorsque le site était bâché et que les objets restaient en place, les objets étaient protégés par des boîtes en plastique.

Le prélèvement

Après le relevé topographique, le prélèvement était effectué. À cause de la présence du limon, les prélèvements en motte étaient à éviter, la motte risquant de durcir en séchant et d'entraîner des tensions sur l'objet. En amont de la fouille, le prélèvement en levée directe avait été théoriquement privilégié. En réalité, il a fallu procéder au cas par cas car les états et les



Figure 1 Prélèvement en motte d'une épée. © Amand.

positions des objets étaient très différents. Les prélèvements ont été effectués en levée directe, en sape avec une planche de polypropylène ou encore en motte pour les épées très fragmentées afin de conserver les connexions (**fig. 1**). Dans ces derniers cas, les cassures fraîches étaient consolidées, et pour les cassures anciennes les connexions étaient conservées par soclage.

Le dégagement des sédiments

Après le prélèvement, les objets étaient emportés au laboratoire où les sachets étaient ouverts et les mottes micro-fouillées. Pour conserver à la fois les restes organiques et l'objet, il était nécessaire de trouver un équilibre entre le dégagement des sédiments pour ne pas engendrer de tension (le métal était très fragilisé) et le maintien de la couche de sédiments contenant potentiellement de l'organique. Il ne fallait donc pas racler la surface de l'objet. Le dégagement devait rester minimaliste. Il était effectué au bâtonnet de bois sans ou avec très peu d'eau. Les sédiments susceptibles de contenir des restes organiques étaient conservés dans un sachet à part joint à l'objet pour pouvoir les analyser par la suite. Les fiches artefacts étaient ensuite remplies avec les photos réalisées au laboratoire, l'inventaire photo et le constat d'état.

Le conditionnement

Le mobilier était trié puis conservé dans une armoire située dans une salle de la ferme où était installé le laboratoire, à proximité de la fouille. Les murs épais en pierre permettaient de conserver la fraîcheur du soir et donc d'avoir une humidité relative et une température stable. La conservation des objets pouvait ainsi être contrôlée. L'armoire les protégeait complètement de la lumière. Le mobilier était ainsi stocké, trié, et prêt à être étudié. Le but était d'éviter les manipulations supplémentaires et des étapes répétitives au cours de la chaîne opératoire.

Les objets métalliques, matériaux mécaniquement sensibles aux variations climatiques, nécessitent un séchage lent et contrôlé pour ne pas risquer de fracturation lors du séchage (Brives *et al.*, 2017). Les fragments métalliques étaient maintenus par une mousse et placés dans un sachet percé. L'ensemble était déposé dans une boîte Miflex® transparente entrouverte, elle-même déposée dans un tiroir laissé entrouvert. Ce système permet la circulation de l'air, nécessaire pour éviter un micro-climat et obtenir un séchage lent. Des bandelettes d'indicateur d'humidité relative placées sur chaque contenant et tiroir, indiquaient s'il fallait les ouvrir ou fermer pour réguler l'humidité et maintenir l'équilibre.

Pour les épées et fragments d'épée (**fig. 2**), les pochettes étaient faites sur mesure pour maintenir les connexions entre les fragments, suivre les déformations des épées et éviter qu'elles

subissent des tensions mécaniques supplémentaires. Les objets étaient ensuite déposés dans une bulle polypropylène percée. Le stockage devait pouvoir être durable, pour prévenir les situations futures quelles qu'elles soient.



Figure 2 Épée déformée en cours de conditionnement. © Amand.

Stockage en anoxie

Sur une idée de Nathalie Ginoux, il a été décidé d'effectuer un stockage en anoxie pour une conservation à long terme. Une fois les objets secs, il a été réalisé au laboratoire du MAN par Clotilde Proust. Le mobilier a donc été placé dans des bulles privées d'air grâce à des absorbeurs d'air et d'humidité (**fig. 3**). Les bulles anoxiques permettent d'éviter les reprises de corrosion liées aux fissures et fractures éventuelles causées au moment de la fouille, et donc de conserver les informations contenues dans la corrosion en place (stratigraphie et traces organiques éventuelles).



Figure 3 Épée conditionnée pour le séchage lent. © Amand.

Les fibules du Plessis-Gassot

Les fibules du Plessis-Gassot sont un bon exemple d'une étude effectuée de manière conjointe entre archéologue et restaurateur. Ces fibules ont été découvertes dans les sépultures des nécropoles du Plessis-Gassot (95), fouillées en 1998 par Nathalie Ginoux (Ginoux, 2009). Elles présentent des restes organiques : il s'agit des tissus qui habillaient probablement le défunt et qui étaient maintenus en place par les fibules. L'intervention du conservateur-restaurateur Florence Dussère (SDAVO) sur le terrain a permis d'éviter que les objets métalliques soient grattés à la truelle et qu'ils soient prélevés en bloc en attendant de pouvoir être traités. Une

première étude des tissus de la tombe princière a été effectuée par Christophe Moulherat. Les tissus présents sur les fibules des tombes secondaires restaient à étudier. L'étude des restes textiles permet d'analyser les caractéristiques techniques et l'usage anthropologique des tissus : ces informations viennent enrichir le corpus des textiles gaulois du III^e s. av. J.-C. Les fibules ont été conservées dans les blocs de terre d'origine dans du film polyester. Elles ont été stabilisées au sulfite pour permettre la conservation des indices morpho-typologiques des fibules. Le dégagement des sédiments et la restauration des fibules ont été effectués à la micro-sableuse et au scalpel dans le but de mettre à jour les restes organiques. Sur les fibules en fer, les sels métalliques migrent dans les fibres organiques et fixent ces dernières sur le métal. Les fibres organiques se colorent et deviennent rouge-orangé, c'est-à-dire de la couleur de la corrosion du fer. On dit que les fibres sont minéralisées. Cette altération de la matière organique ne permet pas la conservation de teintures éventuelles; en revanche, elle a l'avantage de maintenir en place les éléments et de ne pas modifier la lisibilité des caractéristiques techniques (type d'armure de tissage, diamètre des fils, sens de torsion) si l'état de conservation est suffisant.

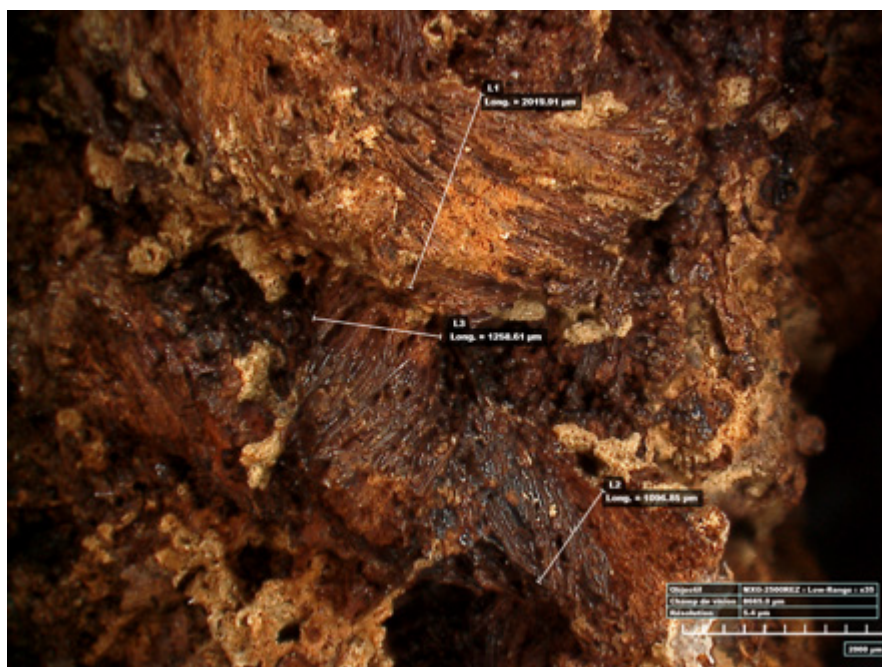


Figure 4 Restes de tissus. La torsion des fils est encore visible.

© Desplanques, Dussère, Plemo 3D.

Sur l'ardillon de certaines fibules, l'état de conservation ne permet pas d'identifier avec certitude l'armure de tissage, mais les différents stades de minéralisation sont bien identifiables. La torsion des fils, qui induit le sens de rotation donné au fuseau lors du filage, est toutefois bien visible (**fig. 4**). Des analyses complémentaires pourront révéler la nature des fibres (animales ou végétales). La compilation de ces données

nous permet d'en savoir plus sur les conditions de fabrication de ces tissus, les manipulations dont ils sont l'objet et sur leur valeur économique et symbolique.

Comme l'a montré la fouille d'Ablis, le dialogue entre archéologues et restaurateurs permet de préserver un nombre optimisé d'informations : intégrité physique et matérialité de l'objet, restitution du contexte d'enfouissement, modes de fabrication et d'utilisation de l'objet, ainsi que les gestes et les manipulations qui ont précédé son enfouissement. Le travail de restauration des fibules aurait peut-être été différent et orienté vers l'étude typologique des fibules (les textiles auraient été détruits) si l'intérêt pour l'étude des restes organiques n'avait pas été discuté dès la fouille par l'archéologue et le restaurateur. Dans les cas de figure présentés (Ablis et Le Plessis-Gassot), la discussion a eu lieu tôt dans la chaîne opératoire; les protocoles de conservation ont pu être adaptés aux objectifs scientifiques : ici, à la préservation d'éventuels restes organiques.

Références bibliographiques

Augel C. et al. (2004), « Un conservateur-restaurateur sur le site paléolithique de Revadim (Israël) pratiquer et enseigner sur le terrain », dans *Les objets archéologiques : de la fouille au musée*, actes des XV^{es} Journées des restaurateurs en archéologie, 1999, Paris, ARAAFU, (coll. CRBC - Cahier technique, 13), p. 16-21.

Brives A.-L., Mulot A., Susini V., Thivet E. (2017), *Conservation préventive. Fiche n°1 - Sur le terrain...*, CORPUS - Groupe de recherche sur le métal et l'*instrumentum*, en ligne. Disponible sur : <<https://metal.hypotheses.org/files/2017/04/Conservationpr%C3%A9ventive-fiche-n%C2%B01.pdf>>.

Brutus F. (2014), *Ablis Rue du Jeu de Paume*, Rapport de diagnostic, INRAP Centre-Île-de-France.

Ginoux N. (2009), *Élites guerrières au nord de la Seine au début du III^e siècle av. J.-C. La nécropole celtique du Plessis Gassot (Val d'Oise)*, *Revue du Nord*, hors série, Lille, université Charles de Gaulle-Lille 3, (coll. Art et archéologie, 15), 159 p.

Pain S. (2015), *Manuel de gestion du mobilier archéologique - Méthodologie et pratiques*, Paris, Éditions de la Maison des sciences de l'homme, (coll. Documents d'archéologie française (DAF), 109).

Proust C. (2007), « Intervention du conservateur-restaurateur sur une fouille préventive », [en ligne], 7 p, dans *Actes des XXIII^{es} Journées des restaurateurs en archéologie*, Draguignan, novembre 2007. Disponible sur : <http://www.artconservation.fr/colloques/2007/04_PROUST.pdf>.

Les auteurs

Louise Amand Après une licence d'Archéologie parcours Préservation des biens culturels à Paris 1, j'effectue un master en Conservation-restauration des biens culturels. J'ai pu me familiariser avec la conservation d'objets archéologiques *in situ*, et la mise en place d'une chaîne opératoire, grâce à ma participation à la fouille d'Ablis en 2018. À travers un stage au SDAVO, j'ai également pu étudier la conservation de fibres organiques minéralisées. Je réalise mon mémoire de fin d'études sur la place de la conservation-restauration dans le traitement et l'étude de l'objet archéologique et le rapport aux autres disciplines impliquées. Master 1 Conservation-restauration des biens culturels à Paris 1, 17 rue de Tolbiac, 75013 Paris, louise.amand@hotmail.fr

Elsa Desplanques Après une licence en Histoire et un master en Archéologie, je suis actuellement doctorante en Protohistoire européenne à Sorbonne-Université (UMR 8157 Orient et Méditerranée). Mon travail porte sur l'usage des textiles dans les pratiques funéraires au premier millénaire avant notre ère, dans une perspective anthropologique. J'ai par ailleurs effectué des études techniques de textiles dans le cadre d'études de mobiliers issus de fouilles préventives (INRAP), de projets de recherche (ANR) et de restauration (Service départemental archéologique du Val d'Oise). Sorbonne-Université, 1 rue Victor Cousin, 75005 Paris, elsasophie.desplanques@gmail.com

LA DÉPOSE DU PAVEMENT DE SAINT-MARTIN-D'HARDINGHEM : COMMENT DÉFIER LE TEMPS ET LES ÉLÉMENTS ?

CAROLE ACQUAVIVA, EMMANUEL DESROCHES, GAËLLE GIRALT, LAURENCE KROUGLY, ASTRID MARÉCHAUX, MAGDA MONRAVAL

Résumé Les vestiges de la demeure épiscopale des évêques de Thérouanne, située à Saint-Martin d'Hardinghem (Nord-Pas-de-Calais), sont découverts fortuitement en 2016, lors de fouilles préventives. Parmi les vestiges sont mis au jour deux pavements de carreaux en terre cuite vernissés, de grande ampleur, déclarés « découverte exceptionnelle ». L'année suivante, en étroite collaboration avec les archéologues, une équipe composée de dix spécialistes est chargée de déposer l'intégralité des pavements. La surface importante à traiter, l'urgence de la mission, le niveau du sol proche de la nappe phréatique et à quelques mètres du cours de l'Aa, ainsi que les conditions climatiques, obligent les restaurateurs à œuvrer dans des conditions extrêmes, avec une logistique lourde et une nécessaire inventivité. La pluralité des compétences des membres de l'équipe a été un atout majeur pour mener à bien ce projet.

Aux difficultés technico-environnementales de cette intervention s'est ajoutée la nécessité d'une bonne coordination entre les différentes entités concernées : l'INRAP, le SRA, le Centre départemental d'archéologie du Pas-de-Calais et le SMAGEAa, chargé de l'aménagement futur du terrain.

Mots-clefs pavement, carreaux, terre cuite, dépose, inondation, intempéries, pluridisciplinarité.

Le chantier de dépose d'un pavement de 134 m² à Saint-Martin d'Hardinghem, devient à bien des égards un véritable défi pour l'équipe de restaurateurs indépendants chargée de l'opération. Dans l'urgence de cette découverte et à l'heure d'estimer leur intervention, ils font face à de nombreuses inconnues.

Dans le cadre de ces journées d'étude, il nous semblait pertinent de rappeler comment l'engrenage de dysfonctionnements administratifs peut conduire à des conditions de travail extrêmes et inadaptées pour les professionnels de la conservation-restauration, souvent derniers maillons d'une longue chaîne opératoire. C'est aussi l'occasion de mettre en avant les solutions adoptées par une équipe interdisciplinaire et de proposer un bilan de cette expérience.

Présentation du site et des pavements

En 2016, un diagnostic puis des fouilles archéologiques sont réalisés à Saint-Martin-d'Hardinghem, dans le cadre de l'aménagement des rives de l'Aa, dont les crues récurrentes menacent les villages environnants (**fig. 1**). Saint-Martin-d'Hardinghem se trouve dans le département du Pas-de-Calais, au nord de la France, non loin de Saint-Omer et de la ville de Thérouanne.



Figure 1 Site archéologique de Saint-Martin-d'Hardinghem. © D. Gliksman, INRAP.

Les fouilles révèlent la présence d'une vaste résidence épiscopale médiévale, comportant une galerie, une grande salle, des douves (aujourd'hui comblées), une cuisine, des écuries et un peu de matériel. Les archéologues découvrent également deux pavements, l'un dans la grande salle et l'autre dans la galerie contiguë, qui mesurent respectivement 100 m² et 34 m². L'emprise de la fouille ne permet pas de mettre au jour la suite de la galerie qui s'étend vers le nord (**fig. 2**).



Figure 2 Pavements de la grande salle et de la galerie. © D. Gliksman, INRAP.

Il s'agit de deux compositions de carreaux en terre cuite émaillés, dans les tons jaunes et verts, qui alternent des fonds monochromes et des décors figurés : motifs géométriques,

floraux, héraldiques, bestiaire naturel, symbolique et fantastique, personnages réalistes et fabuleux, château, etc.

Sont dénombrés aujourd'hui 2700 carreaux, de 11 cm de côté environ dans la galerie et 6700 carreaux de 13 cm de côté dans la grande salle.

La richesse des motifs, l'importance des surfaces conservées in situ et leur appartenance avérée à une résidence de l'évêché de Théroutanne, dont l'influence est très étendue aux ^{xiii}e et ^{xiv}e siècles, rend cette découverte unique. Ces pavements sont déclarés « découverte exceptionnelle », permettant l'attribution d'un budget spécifique pour leur sauvetage. Un premier diagnostic conservatoire est alors réalisé par le Centre départemental d'archéologie du Pas-de-Calais avant le ré-enfouissement du site. C'est sur cette base qu'un appel d'offres est lancé l'année suivante, visant à la dépose des deux pavements et à leur conditionnement pour une conservation adéquate dans les réserves du Centre de conservation et d'étude (CCE), à Dainville.

Les candidats ont donc comme éléments tangibles et disponibles pour constituer une note méthodologique et un chiffrage estimatif, un constat d'état général et quelques carreaux entiers prélevés lors de la fouille par les archéologues. Un aller-voir sur site ne permet aucun examen direct puisque le pavement est ré-enfoui à cette date.

Contexte de travail et contraintes d'exécution

Le chantier de fouille de Saint-Martin d'Hardinghem se définit par un contexte administratif singulier puisqu'il a été réalisé en cotraitance par deux entités, l'INRAP et le Centre départemental d'archéologie du Pas-de-Calais; le service régional de l'Archéologie du Nord-Pas-de-Calais (SRA-DRAC) en est le prescripteur et la SMAGEAa, l'aménageur et le financeur. Pendant toute la durée de l'opération, l'équipe de restaurateurs a donc eu comme interlocuteurs ces quatre administrations pour évoquer les questions techniques et logistiques, mais aussi administratives et budgétaires.

Les conditions difficiles de travail de terrain sont évoquées dès le lancement du marché par le donneur d'ordre. Elles découlent d'une topographie du lieu qui est loin d'être idéale. Le terrain en contrebas de la route est impraticable avec un engin à quatre roues et est situé à 80 mètres de la base vie. La présence de l'Aa et de son affluent, à quelques mètres des pavements, laisse présager d'un débordement imminent. Ces deux cours d'eau font l'objet d'une surveillance permanente par un technicien de la SMAGEAa, chargé de prévenir tout risque d'inondation. Parallèlement, des remontées d'eau dues à la nappe phréatique, proche du niveau du sol de travail, immergent quotidiennement le site.

Ce contexte déjà complexe est aggravé par la lenteur administrative, puisque la notification du marché nous parvient avec plusieurs mois de retard, nous obligeant à décaler le début de l'intervention. Celle-ci se déroule donc de mi-septembre à mi-décembre 2017, dans des conditions météorologiques parfois déplorables : la pluie, le vent, le froid et la neige s'inviteront tour à tour sur ce chantier.

Les aléas pratiques et matériels qui s'ensuivent sont nombreux. Les remontées de la nappe phréatique, la pluie et les crues, nous obligent à pomper l'eau plusieurs heures par jour avant de pouvoir accéder au pavement (**fig. 3**); à cela s'ajoute un terrain continuellement boueux sur lequel il est difficile de se déplacer et de maintenir une zone de travail propre.

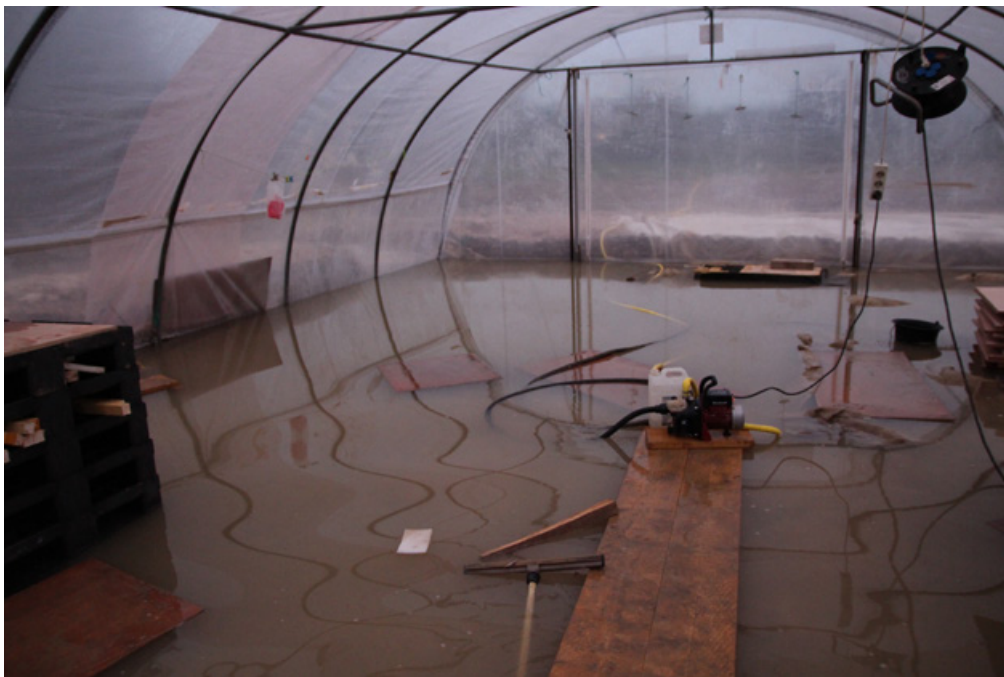


Figure 3 Remontées d'eau quotidiennes sur le pavement. © Groupement Krougly.

Une tempête, survenue les derniers jours de chantier, déplace de plusieurs mètres la serre installée pour protéger les zones de travail et oblige à une consolidation de l'installation (**fig. 4**).



Figure 4 Serre déplacée par la tempête et crue inondant le site. © Groupement Krougly.

Par ailleurs, les restaurateurs découvrent, lors du dégagement du pavement par les archéologues, des enfoncements importants dans le tiers nord de la grande salle¹. Il s'agit d'ornières créées par le passage d'un engin mécanique lors du ré-enfouissement du pavement (**fig. 5**); cet incident s'explique par un sol très meuble au niveau de la grande salle² mais complique un peu plus la dépose des carreaux.

¹ Information non mentionnée dans le diagnostic conservatoire préalable, ni dans les pièces du marché.

² Sur cette zone, le pavement est posé sur un lit de sable, il n'y a aucune couche de mortier visible.



Figure 5 Ornières géantes provoquées par l'enlèvement d'une pelle mécanique lors du ré-enfouissement en 2016. © Groupement Krougly.

Parallèlement, les premières déposes révèlent une fragmentation des carreaux dans leur épaisseur, bien plus importante que décrite dans le diagnostic préalable; le caractère lamellaire de cette fragmentation, visible sur le revers des modules, fragilise la cohérence des ensembles prélevés.

Protocole d'intervention

Les aléas décrits précédemment nous conduisent à revoir entièrement le protocole d'intervention initialement prévu. Une dépose traditionnelle réalisée dans de bonnes conditions, permet de prélever des plaques d'un peu plus d'1 m² et de traiter ainsi 8 à 10 m² par jour. Ce « rendement » suppose que chaque étape du traitement préalable soit effectuée en une fois et sur l'ensemble du pavement (nettoyage, entoilage, documentation et séchage).

Dans notre cas, compte-tenu des remontées d'eau pendant la nuit et de l'humidité constante du terrain, ce traitement préalable doit se faire impérativement sur une zone déposable dans la journée. L'organisation du chantier a donc été modifiée pour avancer selon une chaîne de travail calculée, voire chronométrée : nettoyage de la zone à prélever (**fig. 6**), constat d'état, séchage des carreaux avant le premier entoilage, second entoilage; le reste de la journée étant exclusivement consacrée à la dépose et au conditionnement avant transport.

Documentation

Le plan de dépose et la numérotation des modules sont réalisés sur photo avant toute opération. Le tracé est effectué de façon à créer des décrochements faciles à repérer pour le remontage futur; il permet également de conserver les décalages visibles entre certains ensembles de carreaux (glissements de terrain et/ou dus au mode de pose d'origine?).

Une fiche est créée pour chaque numéro de plaque, comprenant un constat d'état succinct (nombre de carreaux manquants, fragmentés, lacunaires et dont la glaçure est altérée), une



Figure 6 Nettoyage du pavement avant entoilage. © Groupement Krougly.

photographie de la face avant dépose, puis une photographie du revers après dépose. Sur chaque photographie, le nord est indiqué et le numéro de la plaque, reporté.

L'ensemble des informations est consigné sur une base de données qui permettra leur exploitation statistique pour le rapport final d'intervention.

Séchage

Face à ces conditions de travail que l'on peut qualifier d'extrêmes, des solutions ont très vite été mises en place pour maintenir la zone de prélèvement au sec : écopage et pompage régulier de l'eau, systèmes de drainage et de dérivation par le creusement de trous, de rigoles et création de barrages. Ce poste a mobilisé, certains jours, une personne à temps plein. Le problème de séchage des carreaux avant et pendant l'entoilage a nécessité la multiplication des systèmes de chauffage; aux radiants à gaz ont été ajoutés des radiants électriques montés sur support adapté, pour chauffer au plus près la surface des carreaux.

Entoilage

Cette étape permet de garantir la cohérence de chaque fragment d'un même carreau, puis de chaque carreau d'un même module d'extraction. Elle se fait en deux étapes : un premier entoilage à l'échelle de chaque carreau, au moyen de carrés de gaze de coton pré-découpés (**fig. 7**). Un second entoilage avec une gaze aux dimensions de la plaque vient recouvrir l'ensemble des carreaux (**fig. 8**).

Après des tests préalables, la gaze de coton a été retenue pour sa souplesse, épousant parfaitement les déformations des carreaux³. De même, la résine polyvinyl butyrale Vinnapas© s'est révélée comme répondant le mieux au contexte humide du terrain (séchage rapide et résistant au contact de l'eau)⁴; elle est en outre très réversible et stable dans le temps.

³ Autres matériaux d'entoilage testés : tarlatane, non-tissé polyester.

⁴ Autres résines d'entoilage testées : Mowital© B 60HH, Primal©.



Figure 7 Premier entoilage des carreaux.
© Groupement Krougly.



Figure 8 Second entoilage et mise en place d'un système de séchage sur mesure pour la zone à prélever. © Groupement Krougly.

Dépose

Chaque module entoilé est détourné le long des tranches au moyen de couteaux à mastic, puis des « clinquants⁵ » sont insérés le long de cette ligne de découpe afin de détacher les modules les uns des autres; des lames métalliques sont ensuite glissées sous le revers pour les désolidariser du sol. La fragmentation lamellaire des carreaux a fortement compliqué et ralenti cette opération (**fig. 9**).



Figure 9 Dépose des plaques. © Groupement Krougly.

Chaque module est ensuite retourné, face contre le contre-plaqué servant de support de stockage, puis bloqué latéralement par des tasseaux vissés. La fabrication de centaines de supports effectuée en amont, s'est avérée une opération particulièrement chronophage. Les plaques sont ensuite remontées jusqu'à la base-vie avec une brouette et stockées temporairement dans un conteneur réservé à cet effet.

Conditionnement et stockage

Toutes les deux semaines environ, les plaques prélevées sont transportées par deux restaurateurs au CCE de Dainville. Ces dernières sont entreposées sur les racks d'une réserve ventilée et faiblement chauffée, afin d'assurer un séchage progressif et éviter le développement de moisissures. La complémentarité et la bonne coordination entre ce service et l'équipe de spécialistes indépendants a permis le bon déroulement des transferts et la mise en place de conditions de séchage adéquates et contrôlées sur plusieurs mois.

⁵ Fine tôle inoxydable (0,5 mm), utilisée en moulage pour détourner le preneur d'empreinte, ici plantée dans les joints pour délimiter les modules sur la photographie d'identification, et faciliter la séparation entre les modules au moment de la dépose.

Bilan

Globalement, les temps de travail ont été beaucoup plus longs que prévus, avec des journées de 11 h en moyenne sur le terrain. Cette amplitude s'explique par la nécessité de déposer et de mettre à l'abri et en sécurité, avant le repli du chantier, tout ce qui est documenté, nettoyé et entoilé le matin; les difficultés de séchage ont ainsi souvent entraîné un décalage de toute la chaîne opératoire, et imposé aux restaurateurs de travailler après la tombée de la nuit.

Ce nouveau mode de prélèvement a entraîné la diminution de la surface des zones à traiter par jour (2 m²). L'éclatement trop important des revers ainsi que les problèmes de séchage ne permettaient pas de prélever des plaques de plus de 15 carreaux (contrairement aux 25 carreaux par plaque prévus, avec optimisme, lors des premiers essais). Cette augmentation du nombre de petites plaques a nécessité un travail de découpe du bois plus important pour les supports, l'emploi de matériaux supplémentaires, ainsi qu'un plus grand nombre de manipulations et de transports.

D'un chantier prévu sur 6 semaines, nous sommes passés à une intervention in situ de 12 semaines et à un renfort de l'équipe initiale composée de 6 restaurateurs, par 4 autres spécialistes, garantissant ainsi la présence continue d'au moins 4 personnes sur le terrain.

L'équipe, composée au final de quatre conservatrices-restauratrices de mosaïques, deux conservatrices-restauratrices de céramique, deux conservateurs-restaurateurs de sculpture, une mosaïste et un sculpteur, a fait preuve d'une grande capacité d'adaptation, d'ingéniosité et de persévérance face aux conditions particulièrement difficiles de ce chantier. Cette interdisciplinarité a permis de créer une synergie constructive, par l'apport de savoir-faire spécifiques à chaque spécialité : les techniques de dépose (spécialité mosaïque), de levage et de manutention (spécialité sculpture), le traitement du matériau constitutif du pavement (spécialité céramique), la conception des clinquants (empruntée aux techniques de moulage) et de marelles inversées pour localiser et replacer les fragments du revers, une fois la plaque retournée (spécialité enduits peints) (fig. 10).



Figure 10 Création d'une « marelle » pour situer les fragments lamellaires au revers des carreaux. © Groupement Krougly.

Ces opérations ont fait l'objet d'un suivi hebdomadaire assuré par deux archéologues chargés de l'étude du site, favorisant ainsi un échange scientifique enrichissant entre les équipes. Il faut également souligner le soutien technique et moral apporté par les différents partenaires concernés tout au long du chantier. Si l'obtention d'un avenant n'a pas été possible auprès de l'aménageur du site, un compromis financier a pu être trouvé pour permettre aux restaurateurs de compenser les pertes liées au prolongement de l'intervention sur site. Il faut souligner ici la difficulté, pour un groupement de restaurateurs indépendants, de faire face à de tels imprévus financiers (avances de frais) et organisationnels (moyens humains, plannings). Une telle expérience est aussi l'occasion de rappeler que la réalisation d'études préalables par des spécialistes est indispensable dans le cadre d'opérations d'envergure. Elle aurait permis, dans ce cas, d'établir un protocole plus précis en amont et d'estimer au mieux les temps et moyens d'intervention.

Lors de la seconde phase du projet, au Centre de conservation et d'étude de Dainville, en mai 2018, nous avons restauré une petite plaque du pavement de la grande salle (76 cm x 80 cm) (**fig. 11**).



Figure 11 Stabilisation d'un ensemble de carreaux en vue de leur présentation au public. © Centre départemental d'archéologie du Pas-de-Calais.

Cet échantillon a permis de tester différents degrés de traitement et d'évaluer le temps et le coût d'une intervention de conservation-restauration. Il sera exposé prochainement au Louvre-Lens puis au Centre d'interprétation de l'abbaye de Thérrouanne, dans le but de trouver un lieu d'exposition permanent, ainsi qu'un éventuel mécénat pour restaurer tout, ou partie, des deux pavements.

Fiche technique : le pavement en chiffres et fournitures	
Surface en m ²	Grande salle = 100 m ² ; galerie = 34 m ² Superficie totale = 134 m ²
Dimensions et poids d'un carreau	Grande salle = 13 x 13 cm; galerie = 11 x 11 cm Épaisseur 2,5 à 2,8 cm; masse : 1,4 à 1,8 kg
Mode de pose des carreaux	Grande salle : sur lit de sable argileux, sans joint Galerie : substrat avec strates de mortier et ou préparation type tuileau (?)
Nombre de carreaux	Grande salle 6700; galerie 2700.
Nombre total de plaques déposées	676
Nombre de carreaux par plaque	En moyenne 9 à 15
Quantité de contreplaqué acheté	Contreplaqué « marine » en 18 mm d'épaisseur : 235 m ²
Tasseaux	1800 ml
Entoilage	Gaze de coton : 280 m ²
Encollage de l'entoilage	Vinnapas (polyvinylbutyral PVB) 25 à 30 % éthanol + un peu d'acétone. Quantité totale utilisée : 40 kg
Nombre de jours de dépose	339

Remerciements

Nous tenons à remercier l'ensemble des membres de l'équipe pour leur disponibilité et leur investissement : Paul Bosland, sculpteur, Ethel Bouquin, conservatrice-restauratrice céramique, Clément Delhomme conservateur-restaurateur sculptures, et Betty Lefebvre, mosaïste.

Références bibliographiques

Flucher G., Dalmau L., Maggio L. (2018), *Saint-Martin-d'Hardinghem, la Cour Lévêque : une résidence de campagne des évêques de Thérrouanne, Amiens, Lille*, DRAC Hauts-de-France, Service régional de l'archéologie, (coll. Archéologie des Hauts-de-France, 11), 12 p.

Les auteurs

Carole Acquaviva Conservatrice-restauratrice de mosaïques, enduits peints et céramiques archéologiques, 8 rue Joliot Curie, 82600 Verdun-sur-Garonne, carole.acquaviva@gmail.com

Emmanuel Desroches Conservateur-restaurateur de sculptures en pierre, plâtre et terre cuite, 7 Rue Rachais, 69003 Lyon, emmanuel.desroches@free.fr

Gaëlle Giralt Conservatrice-restauratrice d'objets d'art et d'archéologie, métal et céramique, 33 rue Salomon Reinach, 69007 Lyon, gaelle.gi@wanadoo.fr

Laurence Krougly Conservatrice-restauratrice de peintures murales et mosaïques, 7 rue du Pipo la Lauze, 07700 Saint Remèze, laurence.krougly@wanadoo.fr

Astrid Maréchaux Conservatrice-restauratrice de mosaïques, "Restauration Mosaïque", 630 route de Puyricard 13090 Aix-en-Provence, astridmarechaux@gmail.com

Magda Monraval Conservatrice-restauratrice de mosaïques et peintures murales, Carrer dels Horts 16, 46 400 Cullera Valencia Espagne, magda@monraval.com

RECONSTITUTION ET RESTITUTION DE LA PEINTURE MONUMENTALE DES DIVINITÉS AVESTIQUES D'AKCHAKHAN- KALA, OUBÉKISTAN. CONTRIBUTION DES CONSERVATEURS-RESTAURATEURS

MÉLODIE BONNAT

Résumé La mission archéologique Karakalpak australienne (KAE) œuvre depuis bientôt 25 ans à l'exploration du site antique d'Akchakhan-kala situé dans la République autonome du Karakalpakstan, située au nord-ouest de l'Ouzbékistan, dont la période d'occupation principale s'étend du I^{er} siècle avant J.-C. jusqu'au I^{er} siècle ap. J.-C. Parmi les découvertes faites sur ce site, de très nombreux fragments effondrés ou encore *in situ* de peintures murales, mis au jour lors de la fouille d'un complexe cérémonial, indiquent les liens très forts entre le pouvoir royal et la religion zoroastrienne. Les fragments de peinture ont été prélevés et traités en atelier par des conservateurs-restaurateurs. La technique de conservation qui a été adoptée à l'issue de l'expérience de plusieurs années sur le terrain est le prélèvement des fragments avec Paraloid B72 ou PBMA, leur nettoyage sous loupe binoculaire et le montage sur plaques d'aluminium. La collaboration entre les restaurateurs et les archéologues a permis de réaliser la reconstruction graphique d'un nouvel ensemble de peinture murale monumentale.

Mots-clés Akchakhan-kala, Karakalpakstan, Ouzbékistan, Chorasmie ancienne, Zoroastrisme, iconographie de l'Avesta, peinture murale, peinture prélevée en fouille, peinture fragmentaire, puzzle, peinture monumentale, Paraloid B72, PBMA, relevé grandeur nature, relevé manuel, reconstruction, reconstitution, restitution, interprétation, Photoshop, Illustrator, interdisciplinarité.

Introduction

Les peintures des divinités avestiques gigantesques ont été découvertes sur le site antique d'Akchakhan-kala (AK), anciennement Kazakl'i Yatkan, situé au sud-est de la région autonome du Karakalpakstan, dans le district de la ville de Beruni (**fig. 1**), située au nord-ouest de l'Ouzbékistan. La période d'occupation principale (phase 3) est identifiée pour la période du I^{er} siècle avant J.-C. jusqu'au I^{er} siècle ap. J.-C. Elle correspond à l'ancienne région de la Chorasmie. Ces peintures ont été mises au jour par l'expédition Karakalpak australienne (KAE) codirigée par Alison Betts, professeure à l'université de Sydney, et Ghajratdin Khogzhanijazov professeur à l'Institut d'archéologie de Nukus, rattaché à l'Académie des sciences ouzbek, filiale du Karakalpakstan. Cette expédition a pu être menée à l'aide de plusieurs financements successifs du Conseil de recherche australien.

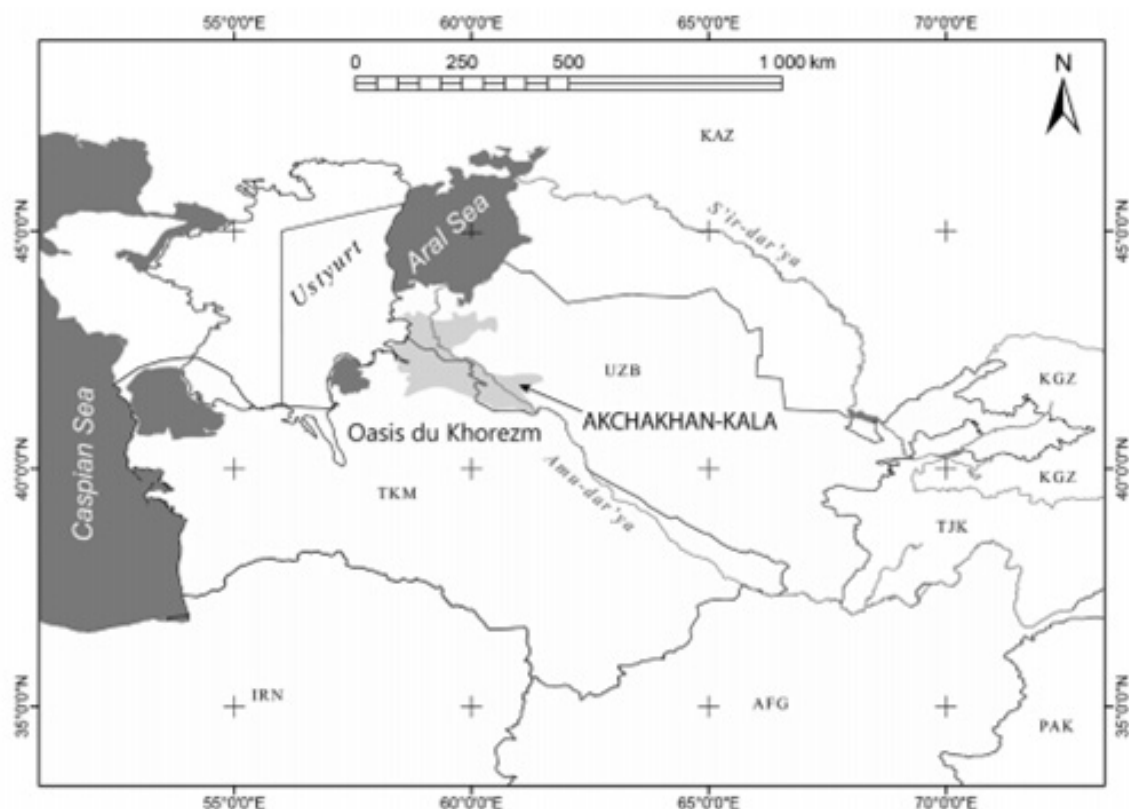


Figure 1 Carte de l'Asie centrale et localisation d'Akchakhan-kala. © KAE.

Parmi les découvertes faites sur ce site, de très nombreux fragments effondrés ou encore *in situ* de peintures murales, mis au jour lors de la fouille d'un complexe cérémonial, indiquent les liens très forts entre le pouvoir royal et la religion zoroastrienne. Ces peintures ont d'extraordinaire d'être les plus anciennes représentations anthropomorphes de divinités de la religion du zoroastrisme, identifiées par les archéologues grâce à des éléments éloquents de leur iconographie, avec des références issues de l'Avesta, livre sacré de cette religion (Betts *et al.*, 2015; Betts *et al.*, 2017; Minardi, 2018). Elles ont aussi de très rare leur dimension gigantesque, plus de six mètres de hauteur, ce qui est unique pour toute l'Asie centrale. Les peintures ornaient une grande salle à colonnes d'un complexe cérémonial où pouvoir royal et pouvoir religieux se présentaient conjointement.

Il aura fallu la pugnacité des membres successifs de différentes disciplines de la mission Karakalpak-australienne depuis 25 ans pour mettre en place un protocole de prélèvement et de traitement adéquat en laboratoire des fragments de peinture murale découverts sur la fouille. Ce travail a déjà été présenté en partie par Géraldine Fray aux JRA de 2008. Nous proposons ici de revenir sur ce sujet et de présenter de nouveaux aspects du travail effectué, notamment, la collaboration entre les restaurateurs et les archéologues, nécessaire pour réaliser la reconstruction graphique d'un nouvel ensemble de peinture murale monumentale découvert entre 2007 et aujourd'hui, publié à plusieurs reprises avec des versions augmentées de nouvelles découvertes et interprétations après chaque mission. L'élaboration d'une méthode adaptée pour la reconstitution de l'iconographie, à l'aide de logiciels de graphisme, était indispensable pour rendre lisibles les peintures extrêmement fragmentaires.

Nous souhaitons rappeler la technique de conservation qui a été adoptée à l'issue de l'expérience de plusieurs années sur le terrain (prélèvement des fragments avec Paraloid B72 ou

PBMA), nettoyage sous loupe binoculaire et montage sur plaques d'aluminium), puis développer la méthodologie de reconstitution et restitution graphique, depuis les relevés faits à la main jusqu'à la restitution finale, en passant par les nombreuses discussions entre archéologues, historiens d'art et restaurateurs aboutissant à une proposition. Ce travail minutieux s'appuie sur l'exploration des nombreuses données accumulées sur des années de travail. Il nécessite également une continuité de méthode et une mémoire des acquis techniques et scientifiques au sein de l'Institut, où sont conservés les fragments, dans le but de permettre à la recherche de se poursuivre. Nous nous appuyons pour cet article sur les règles de base énoncées par Alix Barbet (2016) et tenons à rappeler en introduction les notions de base suivantes : « La reconstitution est une mise en image du remontage effectif de fragments de peintures réels. Elle fait apparaître les vrais fragments, sans restitution des manques et sans faux collages [...]. La restitution complète un motif par hypothèse; les lignes directrices restituées sont clairement indiquées et chacun peut faire la part de l'existant et celle du restitué [...]. Mais une règle absolue est à maintenir, c'est de toujours bien distinguer le vrai du supposé en faisant clairement apparaître les contours des vrais fragments par rapport au dessin d'ensemble. »

Nous exposons donc brièvement la technique de prélèvement et de restauration des peintures murales, puis nous présenterons la reconstitution et restitution graphique des divinités avestiques avec ses spécificités; enfin, nous discuterons des enjeux d'une telle proposition visuelle.

Prélèvement des peintures

La technique de prélèvement des peintures murales sur la fouille du site d'AK a été plusieurs fois présentée et discutée par Géraldine Fray et nous en rappelons ici les grandes lignes (Fray *et al.*, 2014).

Contrairement aux peintures antiques à fresque fragmentaires trouvées en Europe, les peintures d'AK, comme sur la majorité des sites archéologiques d'Asie centrale, sont peintes à la détrempe sur une préparation blanche (sulfate de calcium) appliquée sur un enduit et un mur de terre crue. Cette caractéristique matérielle conditionne les techniques de prélèvement, de manipulation et de restauration des peintures, puisque l'enduit de terre crue ne peut pas être préservé lors de la fouille. Seules la couche de préparation et la couche de couleur sont prélevées (**fig. 2**). En effet, les peintures peuvent être trouvées soit avec la couche picturale tournée vers le haut, soit vers le bas et, dans les deux cas, l'expérience des périodes soviétique et post-soviétique a prouvé que le prélèvement à l'aide de résines synthétiques (PBMA ou Paraloid B72 dans des solvants aromatiques et/ou acétone), avec un support de gaze de coton, donnait les meilleurs résultats¹.

Il est bien connu que la documentation des fragments de peintures en cours de prélèvement est fondamentale pour garantir le travail d'étude en général et de reconstitution graphique ultérieur. Il est indispensable de numérotter chaque fragment et de relever sa localisation précise, grâce à une station totale, afin de produire une cartographie mise à jour chaque année (**fig. 3**). Il est important de faire un relevé manuel, avec un plastique transparent et

¹ La possibilité de prélever les peintures découvertes avec la couche picturale vers le haut avec du cyclododécane dilué dans du cyclohexane a été envisagée, afin de réduire considérablement la phase de nettoyage au solvant de la couche picturale, mais jusqu'alors cette technique n'a pas pu être mise en œuvre à grande échelle en raison de contraintes de budget et de logistique, qui pourront, nous l'espérons, être dépassées dans le futur.



Figure 2 Préparation au prélèvement de fragments de peinture murale sur le site d'Akchakhan-kala, 2018. © KAE.

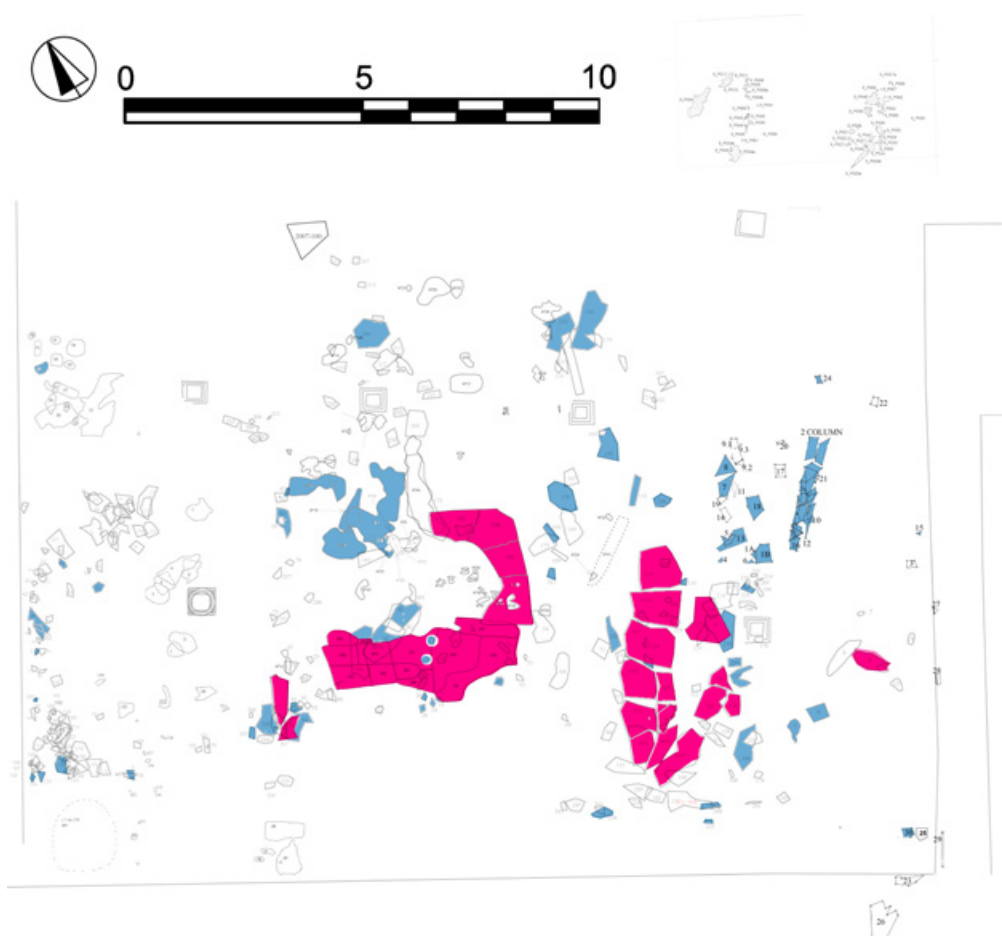


Figure 3 Cartographie des fragments prélevés dans la salle à colonnes d'Akchakhan-kala, 2019 – cartes de 2008, 2009, 2010, 2017, 2018 : en rose, les fragments de la série des divinités avestiques et, en bleu, les fragments appartenant au corpus du jardin – en blanc les fragments prélevés mais non traités. © KAE.

des feutres à l'alcool de différentes couleurs, de ce qui est visible lors de la découverte, principalement lorsqu'il s'agit d'un fragment découvert avec la couche picturale vers le haut, afin de ne perdre aucun détail durant les processus de prélèvement et de nettoyage. Cela est important afin de compléter la base de données et planifier le travail en atelier. Le nombre de fragments trouvés chaque année à AK est tellement important que la mémoire de ce qui a été prélevé doit être claire et accessible pour les intervenants ultérieurs. Cela permet de prioriser les fragments qui semblent les plus intéressants en terme d'iconographie, de détails, de dimensions, etc. et facilite le travail de reconstruction et de recherche iconographique sur les fragments déjà traités.

Traitement en atelier



Figure 4 Nettoyage des fragments en atelier avec lampe loupe. © KAE.

Les fragments sont traités un par un en atelier. Les différentes opérations consistent à retourner les fragments lorsque nécessaire (remettre face visible les fragments trouvés à l'horizontale, la couche picturale vers le ciel et prélevés avec la gaze collée sur la couche picturale); nettoyer délicatement avec une loupe, de l'eau ou des solvants, la couche picturale qui est recouverte soit de terre crue, soit d'un mélange de résine de prélèvement et de terre crue (**fig. 4**); consolider avec de la résine l'adhérence de la couche picturale sur le support en gaze de coton et la cohésion de la couche picturale lorsque c'est nécessaire; enfin, remettre à plat les déformations par des presses.

La plupart des fragments sont menés jusqu'à ce stade de traitement, ils sont ensuite observés d'un point de vue iconographique.

L'étude analogique des motifs découverts est réalisée de manière collective et grâce à la mémoire des différents membres de la mission et l'exploration de la documentation accumulée au cours des années. Une description précise de chaque fragment est rédigée dans un rapport avec une interprétation possible du motif et une comparaison avec d'autres fragments, afin d'attribuer son appartenance à un corpus connu ou nouveau. Dans le cas de la salle à colonnes d'AK, où ont été découvertes les grandes divinités avestiques, les fragments de notre série ont été prélevés conjointement avec les fragments d'une autre série identifiée plus tard comme constituant le corpus d'un jardin présentant diverses plantes et animaux pour laquelle une publication est en cours (**fig. 3**).

Pour en revenir aux traitements en atelier, les fragments les plus intéressants, les plus esthétiques ou les plus amenés à être exposés dans un musée connaissent un traitement de restauration plus avancé. Il s'agit, pour rendre les fragments présentables, de les monter sur un nouveau support rigide et de combler les lacunes. Nous excluons *a priori* toute retouche

colorée. Le montage sur un support en aluminium est la méthode retenue de nos jours pour la légèreté et la résistance que le matériau confère à la peinture. L'aluminium doit être préparé aux bonnes dimensions à l'avance ainsi que son accrochage en salle, par exemple, sur des cadres en acier prévu en amont.

La méthode exige de préparer d'abord le fragment en réalisant un mortier intermédiaire d'une épaisseur d'environ 4 mm appliqué au revers de la gaze de coton pour constituer une sorte de semelle. La semelle peut être réalisée avec de l'Acril 33 (émulsion acrylique), des fibres synthétiques (Dralon) et une charge telle que de la terre dessalée. L'accroche de la semelle sur l'aluminium doit être réalisée avec un adhésif réversible. Les expériences récentes montrent que le Paraloid B72 peut par exemple être utilisé à cet effet. Il faut en tous cas exclure la résine époxy, qui n'est pas réversible. Pour plus de maniabilité, le comblement des lacunes par la face est en général réalisé avant le collage de la semelle sur l'aluminium. Il consiste à poser un mastic de teinte adaptée dans les lacunes de couche picturale et peut être par exemple réalisé avec un mélange d'Acril 33 et de terre dessalée. Enfin, les finitions sont réalisées : mastic teinté sur l'aluminium autour des fragments, mastic sur les tranches de l'aluminium, etc.

Dans le cas des divinités avestiques, le montage des fragments n'a pas encore été entrepris en raison des dimensions importantes du mur à restituer, plus de 6 m de haut par environ 9 m de longueur, mais aussi en raison de l'espoir de trouver des fragments supplémentaires pouvant appartenir à cette série, qui compte aujourd'hui 33 fragments mais pourrait peut-être en accueillir d'autres (même s'il semble aujourd'hui que la majorité des éléments ait déjà été identifiée). Il faut aussi considérer qu'un tel projet de remontage constitue un coût important et qu'il ne serait justifié que dans le cadre d'un projet muséal dédié comprenant la construction d'une salle d'exposition suffisamment haute et munie de matériel permettant l'observation en hauteur.

Mais les divinités avestiques présentent-elles suffisamment de vestiges permettant d'imaginer un tel projet ? En attendant, seule une reconstruction graphique semblait abordable, et bien que complexe elle propose une visualisation de la peinture monumentale permettant au travail de recherche d'avoir lieu.

La restitution graphique des divinités avestiques d'AK

Technique

La reconstitution graphique des peintures est possible grâce aux relevés précis réalisés à la main sur feuille de polyester et feutres à l'alcool (fig. 5 et 6). Les relevés sont réalisés à l'échelle 1 en posant la feuille directement sur la peinture après nettoyage et consolidation. Ils sont systématiquement légendés avec le numéro du fragment (AK, zone, année, numéro du fragment) et une échelle de 10 cm. La gamme de couleurs étant réduite, il a été simple de déterminer un code de points ou d'aplats en fonction de la densité de la couleur préservée, permettant de figurer les différentes teintes. Les contours des lacunes ne sont pas tracés afin de ne pas surcharger l'image ; en revanche, le pourtour du fragment lorsqu'il est blanc est indiqué en pointillés bleus (fig. 5 et 6). Ensuite, les relevés sont scannés et mis au propre à l'ordinateur. Ils sont ensuite assemblés en s'appuyant sur la localisation indiquée par la carte de prélèvement.

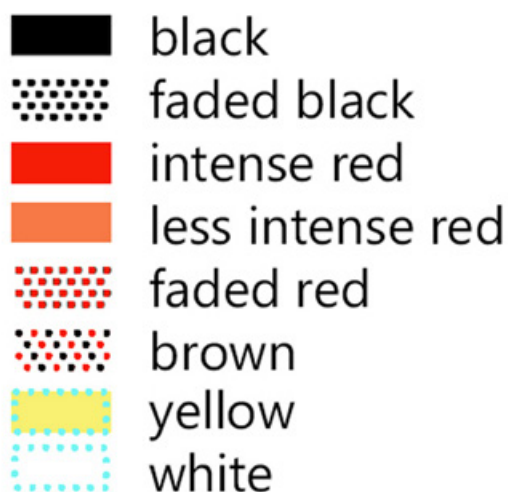


Figure 5 Relevé en cours avec feuille de polyester et feutres à l'alcool. © KAE.

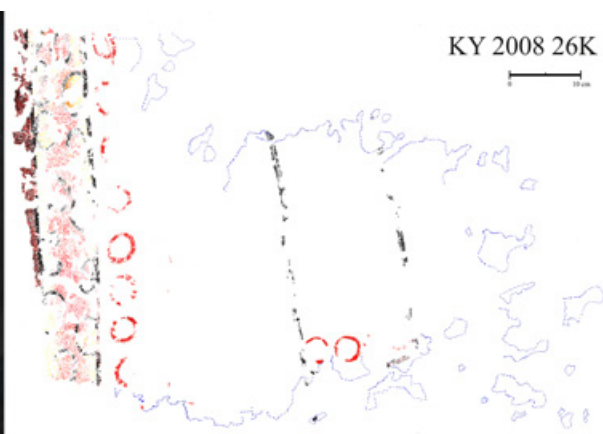


Figure 6 Exemple d'un fragment et de son relevé présentant de gauche à droite du brun, de la fourrure en dégradé de jaune et de rouge avec des cercles noirs, une ligne noire, des cercles rouges, puis à nouveau deux lignes noires. © KAE.

Le processus était nouveau pour l'équipe à cette échelle. Il est extraordinaire qu'une surface quasiment continue de 6 m de hauteur sur environ 80 cm de large ait été préservée malgré la destruction partiellement volontaire de la salle à colonnes il y a deux mille ans, la fragilité intrinsèque de la peinture, mais aussi l'action ravageuse des termites, puis les difficultés liées au prélèvement et au nettoyage des peintures. Les nombreuses autres peintures découvertes et traitées jusqu'alors à AK présentaient des motifs d'animaux et des représentations anthropomorphiques à taille réelle, et les fragments étaient de taille beaucoup plus réduite. Pour cette raison, l'échelle gigantesque, presque triplée, des divinités avestiques n'était pas évidente de prime abord. À cette dimension hors du commun s'ajoute l'état extrêmement fragmentaire de la peinture, qui rend difficilement lisibles les motifs répartis sur plusieurs fragments, même pour les personnes les plus habituées à ce genre de travaux.

Seuls les motifs décoratifs de dimensions réduites, comme par exemple les prêtres-oiseaux zoroastriens (**fig. 7**), sont clairement lisibles et ont attiré en premier lieu toute l'attention des spécialistes. C'est en accrochant progressivement les relevés fraîchement réalisés sur les hauts murs blancs de l'Institut d'archéologie de Nukus que l'équipe a pu se rendre compte de la taille imposante des figures représentées (**fig. 8**). Personne ne s'attendait à une telle découverte.



Figure 7 Détail des prêtres oiseaux sur la première divinité après nettoyage. © KAE.



Figure 8 Accrochage de trois des six relevés de la première divinité dans l'atelier de restauration de l'Institut d'archéologie à Nukus en 2014, rendant compte de l'échelle gigantesque des figures. © KAE.

Sous le coup de la surprise, un premier protocole de traitement informatique des relevés a été mis au point utilisant la photographie et Photoshop en 2014. Nous nous sommes rendus à l'évidence : une reconstitution seule était quasiment illisible, une restitution des lignes et des aplats était indispensable pour rendre le motif compréhensible. Il en a résulté la première illustration publiée de la première divinité. Elle était certes incomplète, mais elle illustrait cette découverte majeure pour l'histoire du zoroastrisme et de l'Asie centrale (fig. 9; Betts *et al.*, 2015).



Figure 9 Première divinité, relevés bruts à gauche, premier état de la reconstitution et restitution en 2014. © KAE.

L'année suivante, le protocole a été amélioré par l'utilisation d'un scanner A3 et l'utilisation du logiciel Illustrator pour les deuxième et troisième figures; de plus un fond blanc a été adopté. S'en est suivie la publication de deux divinités supplémentaires (**fig. 10**; Betts *et al.*, 2017.).

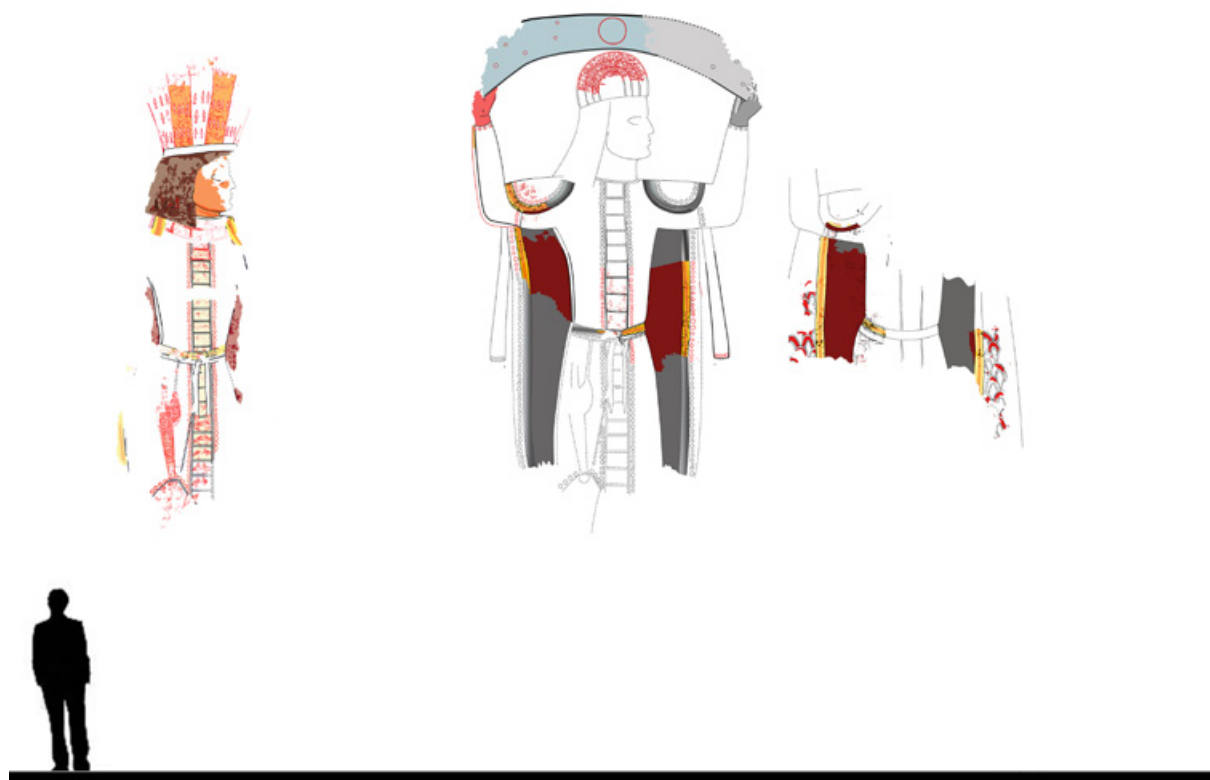


Figure 10 État de la reconstitution et restitution des trois divinités avestiques lors de la publication en 2017. © KAE.

La compréhension du corpus a exigé de passer en revue tous les fragments découverts dans la salle à colonnes, y compris certains qui étaient déjà nettoyés, et de mettre à jour une base de données et une cartographie spécifique au corpus. Il semble simple de procéder ainsi. Mais il faut prendre en compte les contraintes humaines et techniques que rencontre un tel projet scientifique pour comprendre l'ampleur d'un tel programme. Nous allons évoquer maintenant quelques aspects concrets qui ont alimenté les discussions au sein de notre équipe.

Problèmes rencontrés

Position des fragments

Lors du processus de reconstitution et de restitution, les positions relatives des fragments les uns par rapport aux autres ne sont pas univoques, malgré l'apport de la cartographie de la fouille. La personne qui s'occupe de la reconstruction doit faire des choix qui sont déterminés par les discussions avec les archéologues. Au sein d'un même fragment, des déplacements de certaines parties ont été observés et ont dû nécessairement être corrigés (alignement de lignes, rapprochement de fronts de cassure, etc.) (**fig. 11** et **12**).



Figure 11 Vue avant et après déplacement. Fronts de cassures invitant à déplacer des éléments au sein même d'un fragment (ceintures de la première divinité). © KAE.

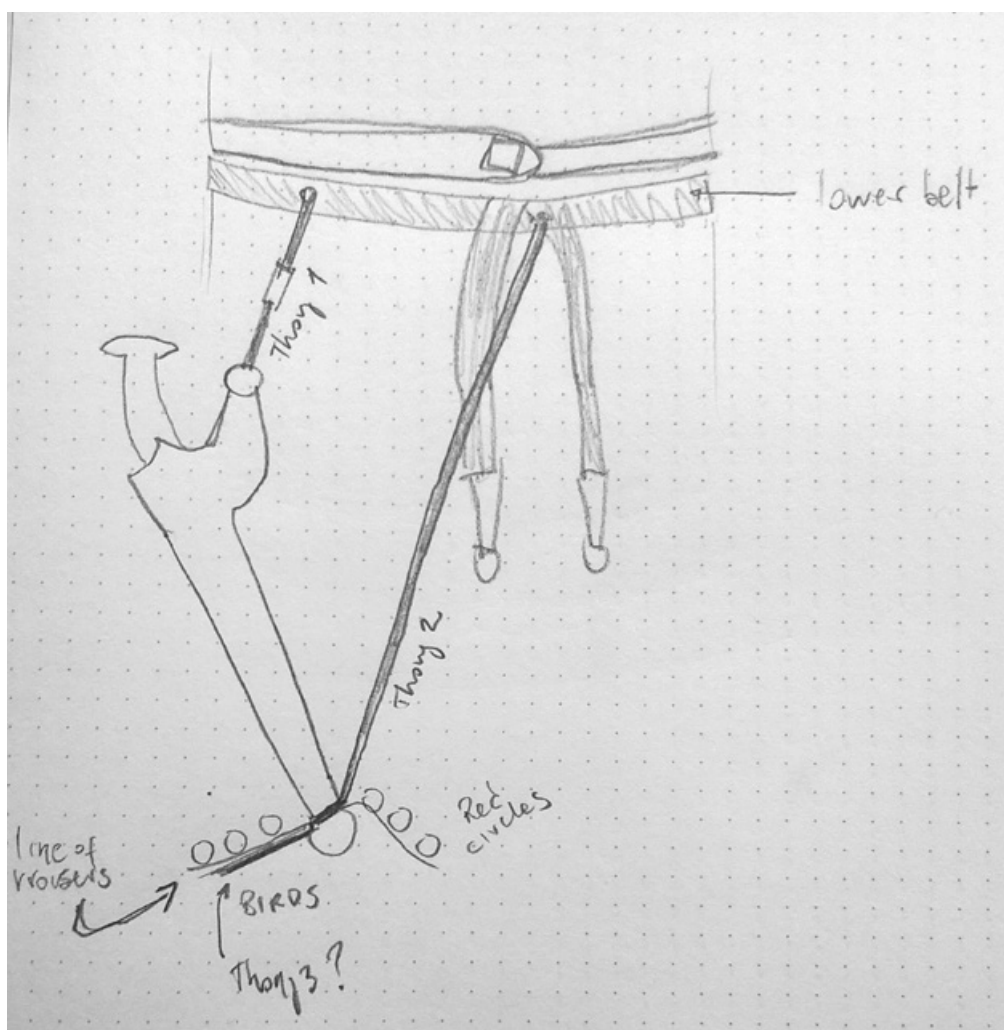


Figure 12 Dessin explicatif des ceintures. ©Michele Minardi.

S'agit-il de faux collages? Autant de choix à petite échelle, qui constituent des marges d'erreur pour la figure représentée en général et la compréhension de petits motifs en particulier. De plus, la position des fragments au sein de la reconstitution globale ne satisfait pas toujours les hypothèses iconographiques et des modifications doivent être effectuées. Nous avons dû nous résoudre à l'évidence à plusieurs reprises : on ne peut pas toujours privilégier la cartographie aux dépens de la logique de l'emplacement des motifs, même si cela signifie

que des fragments ont été trouvés bien loin de la zone logique où ils auraient dû l'être et, ce, pour des raisons que l'on ignore (déplacements de fragments par l'homme ou par des intempéries, destruction volontaire ou involontaire, démantèlement brutal, etc.)². En l'occurrence, la main gauche de la deuxième divinité a été trouvée à 7 m de distance du lieu où elle aurait dû l'être (fig. 13).

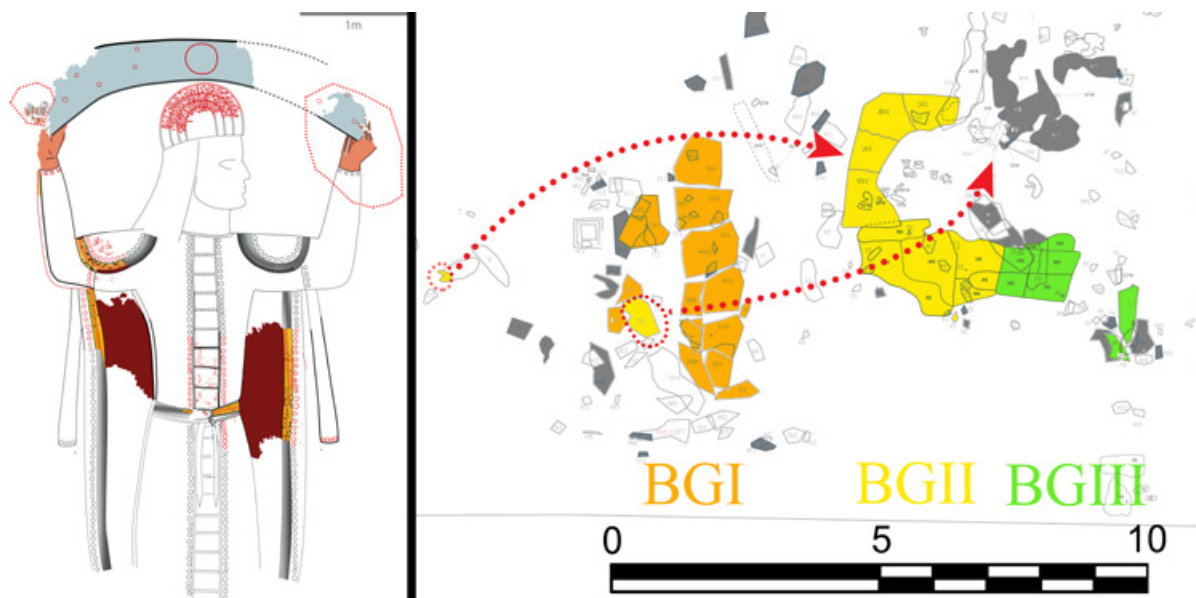


Figure 13 Deuxième divinité, état de la restitution en 2018, avec l'ajout de fragments éloignés au niveau des mains, et carte inversée avec, en jaune, les fragments appartenant à la deuxième divinité, et la localisation très à gauche des fragments des mains. © KAE.

Il nous paraît utile de rappeler le propos d'Alix Barbet : « Pour la reconnaissance des motifs, souvent incomplets, il faut faire preuve d'imagination, puiser dans son « corpus mental d'images » accumulées par des années de pratique. Toutefois, il s'agit parfois d'un véritable test de Rorschach, une méthode qu'on a tenté d'employer pour déceler des désordres psychiques chez un patient : on lui montrait des images de taches d'encre et il devait en donner une lecture. Si la validité du test a été contestée, il semble qu'il puisse tout de même révéler des traits de l'imaginaire d'une personne. Et, pour nous archéologues, la façon d'interpréter, non pas une tache d'encre comme dans le test de Rorschach, mais un motif incomplet, peut révéler une préférence pour tel ou tel type de motif et, partant, certains aspects de notre personnalité » (Barbet, 2016, p. 385).

Le travail en équipe permet de limiter ce problème mais, en fin de mission, il reste toujours beaucoup de questions que l'opérateur doit trancher seul devant son écran. Ayant conscience de ce problème, il nous semblerait intéressant qu'un autre intervenant aie la possibilité et la chance de réaliser à nouveau la reconstitution à partir des relevés bruts scannés conservés par la mission.

Choix des couleurs

Le choix des couleurs à l'écran est un problème lié à la dégradation de la couleur, qui rend difficile la perception d'une teinte, et à la restitution de la texture de la peinture. Nous avons conscience que ces choix peuvent être en partie arbitraires même s'ils s'appuient sur une

² Propos recueillis de Frantz Grenet et Alison Betts.

observation prolongée de la matière avec différentes sources d'éclairage, ainsi que sur les analyses de pigments réalisées en laboratoire (Baker Brite, 2006). Une recherche plus approfondie sur cette question pourrait être réalisée à l'aide de la colorimétrie et une meilleure connaissance des logiciels graphiques, à l'instar du projet *retro-color-3D*.

Nous avons choisi de préserver un code strict de couleurs restituant plutôt les aplats de couleur que les effets de matière et les dégradés. Cela explique que les teintes semblent *a priori* très plates sur la reconstitution, alors que, par exemple, le motif de fourrure est peint avec un dégradé délicat de rouge vers le jaune (fig. 6). Par ailleurs, le visage de la première divinité présente des dégradés de rose plus ou moins clair, probablement réalisé avec des mélanges de rouge et de blanc, en particulier dans les carnations (les plis du cou, la commissure de l'œil, les mains), où la matière est beaucoup plus solide à l'abrasion et à l'eau que le rouge vif employé pour les filets et les motifs ornementaux (torque, broderies) (fig. 14)³.

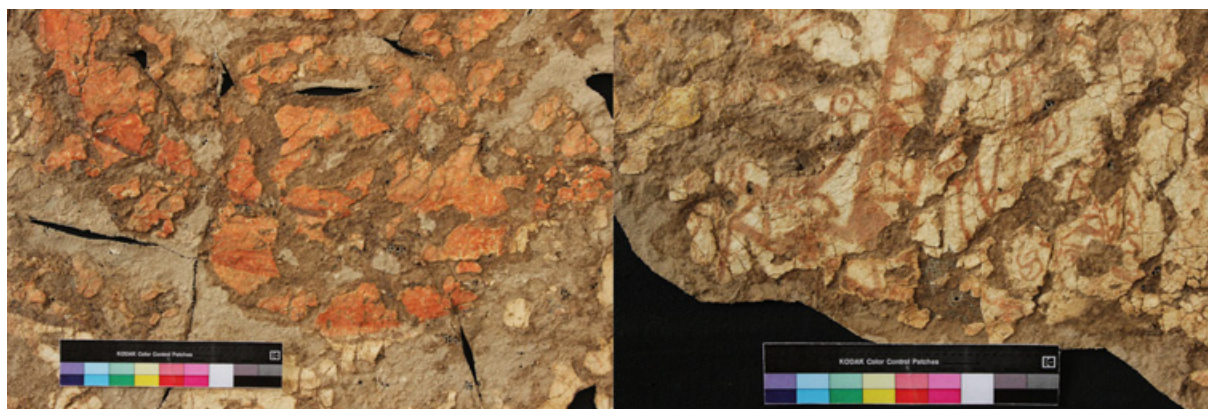


Figure 14 Deux détails du fragment 66D, tête de la première divinité, avec des dégradés de rose dans le cou et de rouge vif pour la représentation du collier : deux types d'utilisation du rouge représentés différemment sur la reconstitution. © KAE.

Par ailleurs, la reconstitution de la teinte du voile porté au-dessus de la tête de la deuxième divinité est délicate. Il s'agit d'un bleu optique réalisé par les artistes à l'aide d'un mélange de blanc et de noir de charbon. La teinte exacte est difficile à déterminer, tant elle fluctue en fonction de la concentration en pigment noir, du grossissement auquel on peut l'observer et même de la concentration de l'adhésif de consolidation après nettoyage⁴. La teinte que le restaurateur sélectionne dans son logiciel graphique a une influence certaine sur les évocations et les interprétations que vont élaborer les archéologues. Par exemple, un voile bleu peut clairement évoquer un ciel de jour, mais un voile gris peut plutôt évoquer la nuit (fig. 13)⁵. Il est donc important que chaque choix soit énoncé, explicité et argumenté en

³ Des analyses de prélèvements de couche picturale dans le rose, réalisées par le laboratoire Epitopos à Strasbourg, ont tenté de voir si la technique employée pour les carnations était dans le frais, en raison de la meilleure cohésion des zones peintes avec cette couleur. Les résultats n'ont pas été probants, mais il est possible que la réalisation de la teinte rose avec du blanc ait rendu la couleur plus résistante que le rouge seul appliqué à la détrempe stricte.

⁴ Le bleu optique réalisé avec du blanc et du noir de charbon présente les mêmes caractéristiques de bonne cohésion que les roses mentionnés ci-dessus. Nous avons remarqué un assombrissement de celui-ci avec la consolidation, même à très faible concentration (Paraloïd B72 dans l'acétone, à 1 ou 2 %, appliqué au compte-gouttes), en revanche, l'assombrissement était moindre avec une application par pulvérisation très fine, mais la consolidation obtenue est peut-être moins efficace.

⁵ En ce qui concerne la série de fragments du jardin, le bleu optique est utilisé en fond. S'agit-il d'un bleu ou d'un gris pour représenter de l'herbe ? Y avait-il un pigment organique jaune qui se serait dégradé et la couleur

équipe pour éviter les mauvaises interprétations et publier une illustration qui soit la plus probable possible.

Compléments : visage, symétrie

Nous déplorons l'absence de visages pour les grandes divinités avestiques. La première divinité présente un visage très fragmentaire, mais les deux autres divinités n'ont pas de tête. Pour évoquer l'anatomie des figures, les archéologues ont choisi de restituer en pointillés les profils de la première et de la deuxième divinité en utilisant ceux que l'on connaissait de la série dite des portraits, découverte sur le même site dans une autre salle. Le style des dits portraits est stylisé et représentatif des peintures d'AK : il nous semble adéquat pour notre restitution, ici plutôt une évocation (**fig. 15**).



Figure 15 Relevé d'un des dits « portraits » d'AK ayant servi à la restitution du visage de la première divinité. © KAE.

De plus, le style du cou et des épaules de la deuxième divinité est difficile à interpréter : en effet, sur la première divinité, le cou est plutôt court avec des lignes de plis de peau très prononcés (**fig. 14**). Mais cette caractéristique anatomique n'a pas été retenue pour la deuxième divinité en raison de la distance importante existant entre l'épaule et la coiffe; le cou est représenté plus long (**fig. 13**). Intention d'évoquer une figure plutôt féminine en allongeant le cou? D'évoquer la forme ronde de la coiffe plutôt qu'allongée? Erreur de positionnement des fragments du bras qui peut être pivoté à différents angles d'ouverture lors de la

d'origine aurait été un vert? Le choix de la couleur restituée joue fortement sur la perception que l'on peut avoir de la représentation de ce jardin.

reconstruction graphique? Seule la découverte d'autres fragments de la peinture pourrait résoudre ce problème.

Nous avons été tentés d'étendre la restitution en pointillés au maximum en reproduisant sur les divinités incomplètes des éléments préservés sur d'autres divinités. Par exemple : la position du manteau recourbé sur les épaules avec des manches vides pendantes sur les côtés, ou bien encore la position des bras levés de part et d'autre de la tête. Cela ressemble beaucoup aux bas-reliefs de Persépolis et la tentation est forte de restituer la symétrie des figures. Cependant, il est plus prudent de se limiter le plus possible à l'état connu, pour laisser place à l'imagination d'éléments absents mais plausibles, tels que des attributs ou des variantes dans la pose.

Jambes manquantes, où situer le sol?

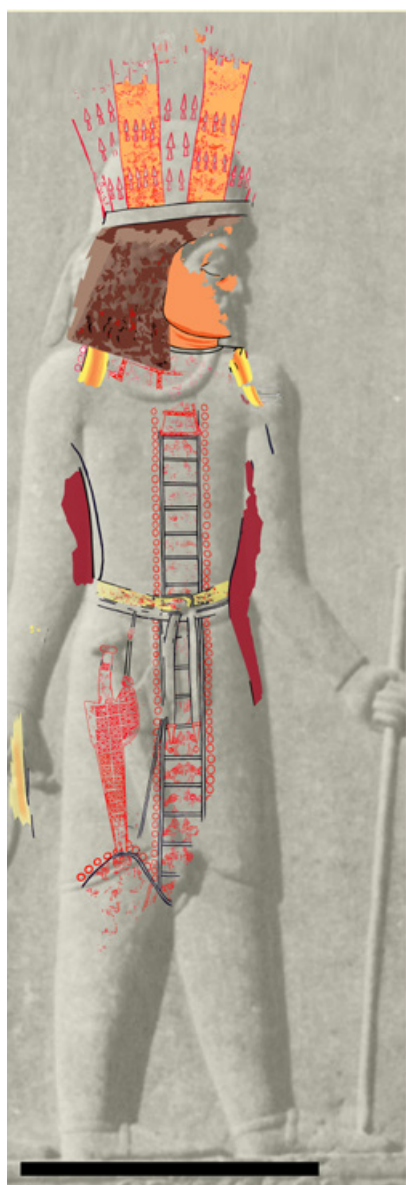


Figure 16 Comparaison de la première divinité avec un détail de bas-relief de Persépolis. © KAE

La peinture des divinités avestiques ne présente pour l'instant aucune jambe. Les peintures sont probablement restées *in situ* et ont été plus exposées aux intempéries que les parties hautes des peintures tombées au sol et préservées dans la terre. Nous ne disposons donc au plus bas que d'une partie du pantalon de la première divinité avec le fourreau de son épée.

Pour la reconstitution, nous avons estimé utile de nous inspirer des bas-reliefs de Persépolis bien qu'ils soient beaucoup plus tardifs. Sur ces derniers, les figures sont représentées dans des poses similaires de faux profil, avec les épaules de face, mais le visage et les pieds de profil (**fig. 16**). Cette comparaison invite à restituer des jambes plutôt courtes par rapport aux proportions anatomiques naturelles, ou même d'inspiration antique gréco-romaine. Il est difficile de restituer la hauteur du sol, cela serait arbitraire et nous préférons donc y renoncer (**fig. 17**). Nous devons nous contenter des 6 mètres de la première divinité, et considérer que la hauteur totale du mur variait probablement entre 7 et 8 mètres. Cela est évidemment exceptionnel, car les piliers de bois utilisés dans la salle à colonnes étaient composés d'une seule pièce de bois et probablement acheminés de loin.

Comme le suggère Alix Barbet « Lorsqu'on ignore la taille réelle d'un compartiment ou d'un panneau, il faut l'indiquer en interrompant les traits qui les structurent. Certains hésitent à le faire, car dans une restitution en couleurs l'interruption est inesthétique. Elle est cependant un gage de scrupule scientifique. » (Barbet, 2016, p. 388)

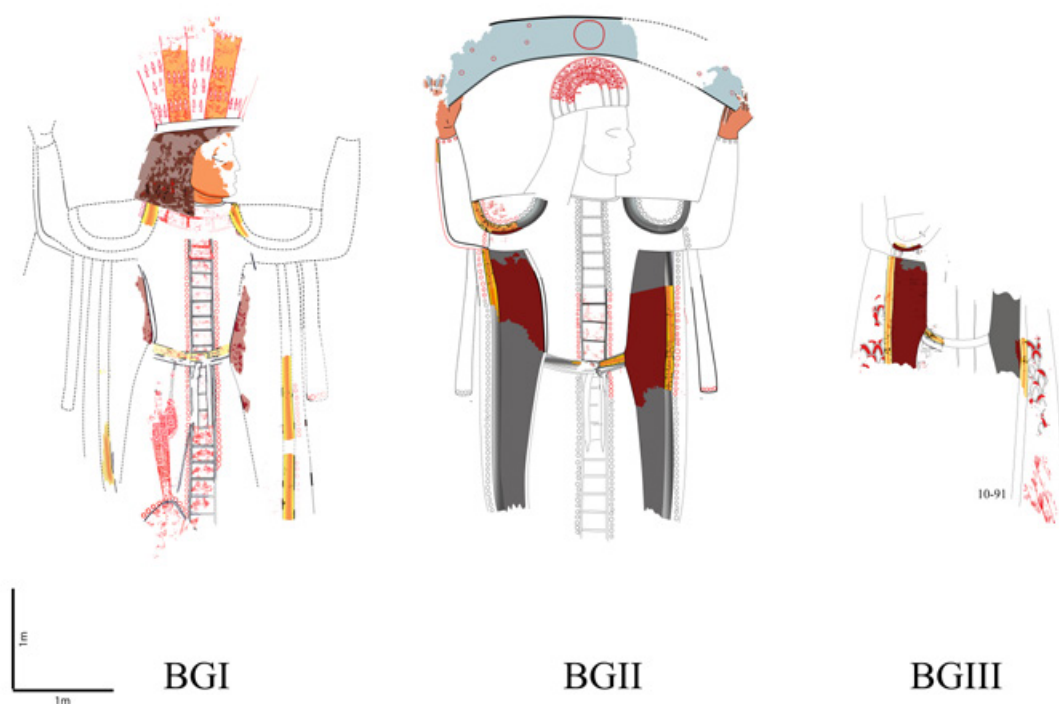


Figure 17 État de la restitution des divinités avestiques en 2018. © KAE.

Conclusion

Les recommandations d'Alix Barbet sont valables pour les divinités avestiques d'AK malgré quelques variantes matérielles : « en résumé, les quelques règles importantes qui découlent de ces expériences sont simples. Il convient de nettoyer soigneusement la surface pour une lecture plus claire, de chercher au maximum des recollages, de travailler en équipe et non pas seul, pour avoir plusieurs points de vue sur la lecture d'une image. Enfin, il ne faut pas s'entêter dans une identification critiquée par d'autres observateurs, et bien considérer celle des autres. » (Barbet, 2016, p.390).

Nous avons vu l'évolution durant cinq ans de la restitution des divinités avestiques. Cela a abouti à un travail presque achevé mais toujours en cours. Il pourra encore être modifié si de nouveaux fragments appartenant à ce corpus sont découverts, ou bien si les relevés sont à nouveaux traités à l'ordinateur par un autre opérateur, ou encore si les choix de positionnement des fragments éloignés sont modifiés par les iconographes.

Nous avons cherché à montrer l'importance de l'interdisciplinarité, ainsi que celle de la clarté et la précision dans la documentation, le but étant que les différents intervenants puissent s'appropriier le matériel archéologique, en extraient le maximum d'informations utiles et rendent compte de tout son potentiel.

L'exemple des divinités avestiques d'AK montre que les recommandations d'Alix Barbet dépassent le cadre de l'étude des peintures murales romaines. Nous défendons cependant l'idée que la restitution de notre corpus était indispensable avec un outil informatique. Nous espérons enfin qu'un jour un projet de restauration des divinités avestiques pourra être mis en place et aboutira à l'inauguration d'une belle salle d'exposition à la hauteur de ces gigantesques et exceptionnelles figures.

Références bibliographiques

Sur les peintures murales de Akchakhan-kala

Betts A., Bonnat M., Kidd F., Grenet F., Khashimov S., Khozhanijazov G., Minardi M., (2015), « Des divinités avestiques sur les peintures murales d'Akchakhan-kala, Ouzbekistan », *Comptes rendus des séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres*, N° 2015-III, p. 1369-1396.

Betts A., Yagodin V.M., Grenet F., Kidd F., Minardi M., Bonnat M., Khashimov S. (2017), « The Akchakhan-kala wall paintings : new perspectives on kingship and religion in ancient Chorasmia », *Journal of Inner Asian Art and Archaeology*, N° 7, p.125-165.

Minardi M. (2018), « The Oxus route toward the south : Persian legacy and hellenistic innovations in central Asia », dans Minardi, M., Ivantchik, A. (eds.) (2018), *Ancient Chorasmia, central Asia and the steppes. Cultural relations and exchanges from the Achaemenids to the Arabs. Proceedings of the international conference held in Bordeaux, France, 17-18 October 2016*, Leiden, Brill, (coll. Ancient Civilizations from Scythia to Siberia 24/1-2, special volume), p. 87-154.

Minardi M., Betts A.V.G., Grenet F., Khashimov S. (2017), « A new Chorasmian wall painting from Akchakhan-kala », dans S. Gondet, E. Haerinck (eds.), *L'Orient est son jardin. Hommage à Rémy Bouchard* (coll. *Acta Iranica*, 58), Leuven Peeters, p. 303-322.

Minardi M. (à paraître), « Notes on the elaboration and transmissions of iconographic elements in Central Asia and India before the Kushans : the Zoroastrian 'bird-priests', *kinnaras* and sirens », dans Wagmar B. (ed.), *From Nisa to Niya : Reappraising cultural conduits and commercial centres along the Silk Road*, K.R. Cama Oriental Institute, Mumbai, 6-7 January 2018.

Baker Brite E. (2006), *Social process in the production of wall paintings at Kazak'i Yatkan*, master of Arts in Anthropology, university of California, Los Angeles (inédit).

Yagodin V. N., Betts A., Kidd F., Baker Brite E., Khozhanijazov G., Amirov Sh., Yagodin V. V., Fray G. (2009). « Karakalpak-australian excavations in ancient Chorasmia. An interim report on the Kazakly-Yatkan wall paintings : the portrait gallery », *Journal of Inner Asian Art and Archaeology*, N° 4, p. 7-42.

Sur les différentes techniques de prélèvement et de remontage des peintures murales d'Asie centrale contenant toutes autres références utiles

Fray G., Reutova M. (2014), « Du terrain à la muséographie. La restauration de peintures murales en Ouzbékistan : Kazak'i-yatkan/Akchakhan Kala (Khorezm antique) et Afrasiab (Samarkand Qarakhanide) », [en ligne], *Cahiers d'Asie centrale*, 21/22 | 2013, mis en ligne le 30 septembre 2014, consulté le 16 octobre 2014. Disponible sur : <<http://asiecentrale.revues.org/2119>>.

Sur les problèmes de restitution des peintures murales fragmentaires

Archéovision (éd.) (2017), *Reconstruction of polychromy – Research on polychromy in ancient sculpture, architecture and wall-painting : the role of reconstructions*, conférence organisée par Archéovision, rencontres Virtual Retrospec 2017 November 29th-30th December 1st, à l'université Bordeaux-Pessac, 50 p. Pré-actes disponibles sur : <<https://polychromy2017.sciencesconf.org/data/pages/AbstractsBook.pdf>>.

Barbet A. (2016), « Recomposition et restitution des peintures murales fragmentaires : méthodologie, principes scientifiques et éthiques », *Revue archéologique*, N° 62, p. 361-381.

L'auteur

Mélodie Bonnat Diplômée de l'Institut national du patrimoine - département des Restaurateurs en 2010 et d'un master à l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne en Patrimoine et conservation-restauration des biens culturels en 2011, Mélodie Bonnat a développé ses compétences en conservation-restauration de peintures de chevalet et peintures murales sous des aspects variés. Elle participe à des chantiers de restauration de peintures murales *in situ* en France à Paris et en Bretagne et, à l'étranger, comme chef de projet pour des ONG pour la restauration de temples bouddhistes en Inde. Elle encadre l'équipe des restaurateurs des peintures murales issues de fouilles archéologiques depuis 2014 en Ouzbékistan avec la mission archéologique Karakalpak australienne, sujet de cette présentation.
95 rue de Lille 75007 Paris, 07 81 88 72 87, melodiebonnat@gmail.com

LES COUPES TRANSVERSALES DES FILS ISSUS DE TEXTILES ARCHÉOLOGIQUES : UN APPORT DE DONNÉES NON NÉGLIGEABLE

LAURE MEUNIER, CHRISTOPHE MOULHERAT

Résumé La restauration du chaland gallo-romain Lyon Saint-Georges 4, daté de la fin du II^e siècle après J.-C., a donné lieu à une série d'études tant sur sa construction que sur les matériaux qui le composent. C'est à cette occasion qu'un ensemble inédit de tissus enduits de poix utilisés comme calfatage a été dégagé. Dans un premier temps, l'état de conservation des textiles a été expertisé et, dans un second, une collaboration scientifique entre l'INRAP, le musée du quai Branly-Jacques Chirac et ARC Nucléart a été mise en place. Elle a permis de faire des essais de coupes transversales sur quelques échantillons, afin d'évaluer les données potentielles de ce corpus exceptionnel. Les premiers résultats en sont livrés ici.

Mots-clés : gallo-romain, textile archéologique, coupe transversale, analyse.

Introduction

Le chaland Lyon Saint-Georges 4 (LSG4), daté de la fin du II^e siècle après J.-C. et dévolu au musée *Lugdunum* (Lyon) est en restauration à ARC Nucléart (Grenoble) depuis début 2014. Il a fait l'objet d'un traitement de stabilisation et les opérations de conservation ont amené à un démantèlement complet de l'épave, ce qui a permis une étude archéologique approfondie des divers matériaux en présence. La partie scientifique est coordonnée par Marc Guyon (INRAP) et a porté sur l'étude de l'entretien et la construction du chaland, sur l'étude archéodendrométrique des bois, sur l'archéométrie des clous, sur l'étude des plaques de réparation en plomb et, enfin, sur l'étude des tissus poissés utilisés en tant que matériau d'étanchéité entre les différents éléments.

Une campagne de déploiement de divers bourrelets d'étanchéité a été menée depuis 2016 avec la mise en place d'un nouveau protocole plus respectueux des textiles (Meunier, 2019). Jusqu'à récemment, des solvants organiques étaient utilisés pour dissoudre la poix et récupérer les tissus, avec l'inconvénient majeur de réduire les textiles sous forme de petits fragments et de les fragiliser. Ici, le protocole utilisé consiste à ramollir la poix sans la dissoudre par une immersion dans de l'eau chaude à 100 °C. Les tissus peuvent ainsi être dépliés tout en respectant leur forme originale.

Cela a conduit à la mise au jour d'un ensemble exceptionnel de tissus gallo-romains, qui représentent une surface de plus de trois mètres carrés. Une centaine de tissus ont déjà été identifiés. Ils sont majoritairement en laine, mais quelques textiles et fils d'origine végétale

ont été identifiés et la recherche autour de la caractérisation et de l'exploitation des données disponibles a amené à la mise en place d'une collaboration scientifique avec le musée du quai Branly-Jacques Chirac.

Quelles sont les caractéristiques d'un tissu archéologique ?

Le plus souvent, les textiles sont conservés sous une forme altérée, ils ont subi des transformations physico-chimiques radicales (De Buhren, 2008) et leur étude en est rendue compliquée et délicate (exemple des tissus minéralisés au contact d'éléments métalliques qui se sont oxydés et ont permis la conservation des fibres [Moulherat, 1999 et 2008]).

Cependant, il arrive que les tissus nous parviennent sous une forme non altérée, ils n'ont pas subi de changements susceptibles de modifier la structure des fibres et, par conséquent, de perturber l'étude du tissu. Les températures extrêmes permettent une telle conservation, comme il est possible d'en observer en Égypte, au Xinjiang (province chinoise occidentale réputée notamment pour son climat désertique) ou en Sibérie où le pergélisol (sous-sol gelé en permanence) a permis la conservation de nombreuses momies. La poix qui imprègne les tissus de LSG4, par ses propriétés hydrophobes et bactéricides, a permis aux textiles de traverser les siècles sans altération.

Comment identifie-t-on les fibres ?

L'étude des fibres est tributaire de leur état de conservation et il existe de nombreux cas pour lesquels les méthodes traditionnelles d'identification s'avèrent inadaptées, notamment lorsque les fibres se sont conservées sous une forme minéralisée par les sels métalliques. La mise en place de nouvelles méthodes d'observation microscopique a permis de pallier ce handicap et d'envisager la détermination de la plupart des espèces végétales ou animales quel que soit leur état de conservation.

La microscopie électronique est un outil indispensable dans l'étude des textiles et, notamment, dans la connaissance des fibres, qu'il s'agisse des caractéristiques externes (écailles, genoux de flexion...) ou des caractéristiques internes (lumen, canal médullaire). Nous verrons plus en détail le potentiel qu'offre cet instrument dans l'analyse des fibres (Gabra-Sanders, Ryder *et al.*, 1984).

L'identification des fibres nécessite l'utilisation de méthodes adaptées à leur état de conservation. L'information obtenue doit être soumise à un référentiel constitué d'images en vue longitudinale et de coupes transversales obtenues au microscope optique et au microscope électronique. Il existe un certain nombre de banques d'images publiées auxquelles il est possible de se référer. Mais il est aussi indispensable de créer sa propre base de données dans laquelle l'éventail des références pourra être adapté à son propre champ d'application.

Procédés généraux d'identification

L'examen visuel et le toucher donnent une première idée, mais les appréciations qu'ils donnent sont insuffisantes.

La combustion, lorsque c'est possible, par le brûlage d'un ou plusieurs fils, permet d'observer l'allure de la combustion et les résidus. L'odeur permet de facilement différencier les fibres animales; cette méthode utilisée un temps dans l'industrie donne la qualité végétale

ou animale de la fibre, mais n'est pas envisageable ici du fait de la présence de poix qui imprègne les fibres.

Une fibre s'observe de deux façons distinctes, en vue longitudinale et en coupe transversale. À chacune de ces observations correspond une préparation spécifique. La solution choisie ici consiste en la combinaison de la microscopie électronique à balayage (MEB) et de la microscopie optique en réflexion. À chacun de ces appareils correspond un mode opératoire spécifique.

Les vues longitudinales obtenues sous MEB

L'utilisation exclusive de vues longitudinales dans de nombreux ouvrages sur les textiles archéologiques doit nous conduire à être prudent sur les interprétations d'identification. Seule la combinaison de deux approches peut nous garantir des résultats plus fiables.

L'examen microscopique à balayage (MEB), avec un grossissement jusqu'à 40 000 fois, demande une préparation. Un échantillon doit être prélevé, les fibres constituant le fil nettoyées et légèrement séparées pour avoir une meilleure vue individuelle puis préalablement recouvertes d'une fine couche d'or pour rendre la surface conductrice.

Les avantages du microscope électronique sont :

- un grossissement plus important pouvant atteindre $\times 40\,000$, selon les modèles utilisés. Dans la pratique, on l'utilise couramment jusqu'à $\times 10\,000$;
- une plus grande profondeur de champ, c'est-à-dire la possibilité de voir nets des plans distincts, ce qui permet d'observer les caractéristiques des surfaces des fibres d'origine animale (structure des écailles) et végétale (présence ou non de genoux de flexion, par exemple, dans le cas de fibres libériennes). Il est également possible de mesurer les diamètres et d'apprécier l'état général de conservation;
- si le microscope est couplé à un spectromètre permettant des analyses élémentaires (EDS), il permet alors d'étudier la composition chimique de l'échantillon et, en particulier en ce qui concerne les fibres textiles, la présence de mordants (Moulherat, 2008) (**fig. 1**).

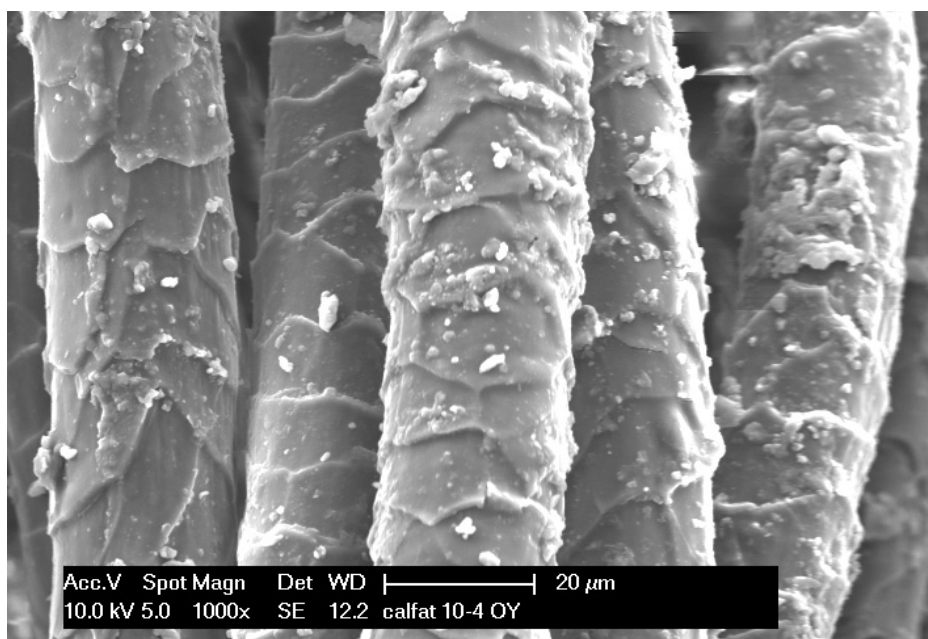


Figure 1 Vue au microscope électronique à balayage (MEB) de fibres de laine appartenant à l'épave LSG4, calfat 10-4. © ARC Nucléart.

Les vues longitudinales sous microscope en réflexion

Pour l'observation en vue longitudinale sous microscope en réflexion, les grossissements nécessaires sont de $\times 200$ et $\times 400$; quelques fibres sont disposées entre lame et lamelle dans un liquide d'immersion (baume du Canada, par exemple) et l'observation au microscope optique peut être entamée. Pour faire une observation en coupe transversale, le fil doit être nettoyé et les fibres séparées afin de permettre à la lumière de les éclairer par transparence (**fig. 2**). L'échantillon est ensuite déposé entre lame et lamelle. La vue longitudinale doit être complétée si possible par une coupe transversale de l'échantillon. Il est souvent utile d'effectuer l'observation sous une lumière polarisée pour mettre en évidence les structures caractéristiques des fibres.



Figure 2 Vue longitudinale au microscope optique de fibres de lin appartenant à l'épave LSG4, calfat 54-7-8. © Laure Meunier.

Les coupes transversales

L'observation en coupe transversale s'effectue sous un grossissement de $\times 500$; elle nécessite l'utilisation d'un microtome¹. Elle permet de déterminer de façon plus précise les principales espèces de fibre (**fig. 3**). Plusieurs techniques ont été proposées pour obtenir des coupes transversales de fibres. Des microtomes développés spécialement à cet effet dans l'industrie des fibres commerciales ont été décrits par Wildman (Wildman, 1954), Catling et Grayson (Catling, Grayson, 1982) et Taylor (Taylor, 1990). Les coupes transversales de 15 à 20 μm d'épaisseur sont obtenues avec des lames de rasoir rigides sous une loupe bino-culaire. Ces coupes sont ensuite teintées par des méthodes histochimiques de coloration

¹ Les lames utilisées sont de type Ega. Résine Norsodyne S 807 en 5 kg, catalyseur Butanox M 50 en 1 kg et accélérateur NL 51 en 1 kg.

(rouge de ruthénium et vert d'iode) pour améliorer la lecture des formes des cellules (Gay, Monrocq, 1972).

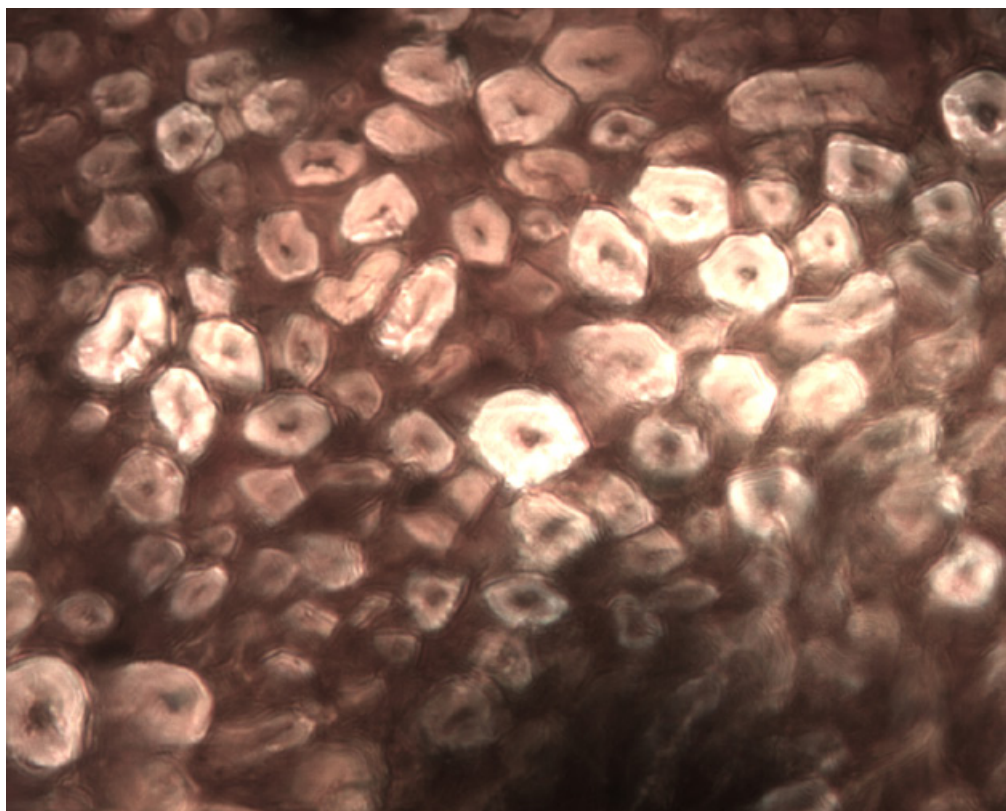


Figure 3 Vue transversale au microscope optique de fibres de lin appartenant à l'épave LSG4, calfat 54-7. © Laure Meunier.

Nous avons utilisé trois types de microtome, le premier a été mis au point par l'Institut textile de France (ITF) et nécessite un mode opératoire spécifique. Les fils que l'on désire analyser doivent être disposés à l'intérieur d'une gaine de Téflon® remplie par capillarité d'une résine polyester. Cette résine doit être préalablement mélangée à un catalyseur et à un accélérateur de polymérisation. Le tout est mis à polymériser soit 24 heures à température ambiante, soit 30 mn à l'intérieur d'une étuve portée à une température de 60 °C. Ce tube est ensuite positionné dans la gouttière porte-échantillon du fibrotome.

Nous avons également utilisé un autre type de microtome produit en Chine (Y172-Hartz slicer) avec lequel nous obtenons d'excellents résultats également. La différence réside dans le fait qu'il n'est pas nécessaire d'utiliser un tube en téflon et que la résine est une colle qui polymérise en 30 secondes. Cette technique est très utile pour les échantillons de grandes tailles mais difficile à utiliser dans le cas de fils très fins.

Nous avons utilisé un troisième modèle, élaboré de façon artisanale en perçant à un diamètre de deux millimètres une rondelle de laiton d'épaisseur de trois millimètres primitivement destinée à la plomberie et achetée en grande surface de bricolage. Les résultats en ont été tout à fait satisfaisants. Ce modèle, facile à reproduire, permet d'obtenir des coupes proches de celles que l'on observe avec les microtomes industriels.

Cet examen apporte de précieuses informations sur la constitution des fibres et permet de différencier sans aucun doute le lin du chanvre et de l'ortie. Il va aussi permettre de comprendre, pour les fibres animales, si elles sont naturellement pigmentées ou pas. En cas de

teinture, il est possible de voir si cette dernière a pénétré au cœur de la fibre ou si elle est restée en périphérie. Cette technique permet elle aussi de faire des mesures plus précises du diamètre de fibres.

Quels sont les intérêts de ces études ?

Outre les premières informations de caractérisation qui peuvent être récoltées, une étude systématique des fibres au microscope optique en vue transversale permet d'observer plus finement le matériel. En fonction de la présence, pour les fibres animales, de canaux médullaires ou pas, les propriétés techniques et la résistance de la fibre vont être différentes. Donc la production de statistiques sur leur présence ou non, sur la pigmentation naturelle ou pas, et sur les diamètres des fibres constitutives des fils va donner un éclairage *a minima* sur les choix faits en amont de la production d'étoffe. Dans le cadre de l'étude du corpus de Lyon Saint-Georges 4, le matériel est suffisamment abondant pour que les comparaisons entre les tissus puissent donner une solide base de référence sur laquelle s'appuyer à l'avenir.

Quels sont les premiers résultats pour l'étude de LSG4 ?

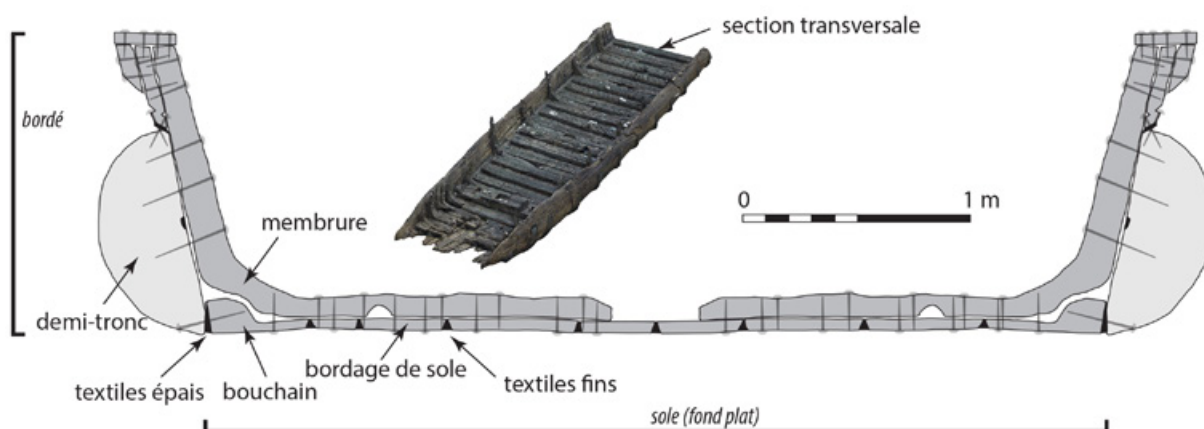


Figure 4 Coupe sectionnelle de l'épave LSG4 et localisation des emplacements des bourrelets d'étanchéité : entre les planches du fond du bateau (la sole) et entre l'extrémité de la sole (bouchain) et les bordés. © Marc Guyon, INRAP.

Le calfat² 54 est situé à l'arrière de l'épave, à tribord, entre le fond plat et le bordé (**fig. 4**). Cette localisation, qui court sur toute la longueur du bateau, est celle qui présente le bourrelet d'étanchéité le plus important. Cet élément d'1,90 m environ a fourni, après déploiement, 46 fragments de tissu. La nouvelle méthode de déploiement est plus respectueuse des tissus en donnant des fragments de plus grande taille (précédemment, on avait considéré que la taille moyenne des fragments de tissu servant à l'étanchéité était de 110 cm² (Médard, 2014, p. 123) alors que pour le calfat 54, la taille moyenne des fragments est de 650 cm² pour les tissus en laine et 250 cm² pour ceux issus de fibres végétales). De nombreux fils de couture sont présents, contrairement aux campagnes précédentes. Une première série de 16 prélèvements de fils a été effectuée, dont quelques fils de couture, et confiée à Tara Chapron pour son mémoire de master 1 en Archéologie (Chapron, 2018) afin d'évaluer les possibilités d'étude (**fig. 5**).

² La dénomination « calfat » a été utilisée pour inventorier archéologiquement tous les éléments d'étanchéité du chaland, nous la reprenons donc ici.

N° d'échantillon	Nature de la fibre	Tissu prélevé	Informations	Pigmentation naturelle	Canal médullaire ou lumen	Diamètre des fibres	Moyenne	Nombre de fibres examinées
A	Végétale, chanvre	LSG4 S6 calfat 54-10-7	Fil de couture	Non	Oui en forme de I	5 à 44 µ, forme souple avec un canal épais	17 µ	37
B	Animale, laine	LSG4 S6 calfat 54-10-7		Non	Peu à très visible	19 à 47 µ	31 µ	28
C	Végétale, chanvre	LSG4 S6 calfat 54-9-6	Fil de couture	Non		6 à 60 µ	18 µ	40
D	Animale, laine	LSG4 S6 calfat 54-9-5			Peut-être très fin, de l'ordre de 4 microns	16 à 50 µ	30 µ	49
E	Animale, laine	LSG4 S6 calfat 54-9-5		Oui	Non	13 à 47 µ	25 µ	42
F	Animale, laine	LSG4 S6 calfat 54-8-1-2	Cordelette de 6 mm de diamètre	Non		17 à 51 µ	28 µ	17
G	Animale, laine	LSG4 S6 calfat 54-8-1-2	Fil de couture de la cordelette			16 à 60 µ	35 µ	37
H	Animale, laine	LSG4 S6 calfat 54-9-2	Cordelette			10 à 39 µ	22 µ	54
J	Animale, laine	LSG4 S6 calfat 54-9-3	Tissu de réparation	Très présente	Non	14 à 30 µ	23 µ	18
K	Animale, laine	LSG4 S6 calfat 54-9-3		Très présente	Non	12 à 37 µ	22 µ	30
L	Animale, laine	LSG4 S6 calfat 54-10-9	Cordelette			17 à 69 µ	34 µ	71
M	Végétale, lin	LSG4 S6 calfat 54-1-1		Non		8 à 19 µ	13 µ	40
N	Végétale, lin	LSG4 S6 calfat 54-1-3		Non		10 à 12 µ, forme polygonale caractéristique avec un très petit lumen		
P	Végétale, lin	LSG4 S6 calfat 54-7-2		Non		3 à 23 µ, dimensions et structure externe qui font penser à du lin	10 µ	55
Q	Végétale, lin	LSG4 S6 calfat 54-7-7		Non		11 à 21 microns, forme polygonale caractéristique avec un très petit lumen	16	5
R	Végétale, lin	LSG4 S6 calfat 54-10-12		Non		6 à 26 µ	13 µ	37

Figure 5 Tableau des 16 échantillons prélevés et analysés.

Les éléments végétaux font leur apparition, car ils n'avaient pas été repérés dans les études précédentes sur les tissus d'étanchéité romains (Médard, 2010, 2014). Seule la laine était représentée, par suite du choix fait de l'échantillonnage. Les tissus végétaux sont plus petits et moins nombreux que ceux en laine. L'échantillon P appartient à un sergé végétal qui est pour le moment le plus ancien d'Europe de l'ouest (fig. 6).



Figure 6 Macrophotographie du sergé végétal calfat 54-7-2. © Laure Meunier.

Il est intéressant de remarquer que deux des trois fils de couture (échantillons A et C) sont en chanvre et qu'ils ont été utilisés pour coudre des étoffes en laine. Les échantillons végétaux possèdent tous des fibres très fines (moyenne entre 10 et 18 μ), ce qui les différencie au premier abord des fibres animales plus épaisses, mais seules les coupes sectionnelles réalisées ont permis une identification immédiate par reconnaissance de la structure interne des fibres, que ce soit pour le lin (échantillons M, N, P, Q, et R) ou le chanvre (échantillons A et C). Les échantillons de laine ont permis de voir la rareté de la présence de canaux médullaires, alors que certains tissus d'autres collections romaines en comportent. Cela peut signifier un choix dans la matière première, car les fibres avec canal médullaire sont plus grossières, mais également plus solides, alors que celles qui en sont dépourvues s'approchent de la qualité « angora » ou « mérinos », apportant chaleur et gonflant. La présence de fibres pigmentées naturellement ou pas, même si toutes n'ont pas été renseignées, indique là encore des choix quant à la matière première. Si les romains étaient en effet capables de différencier de tels fils, les étoffes produites avec avaient des statuts différents et la qualité même du textile était une marque d'appartenance directe à une certaine classe sociale (Harran, 2019).

Conclusion

La mise au jour d'un très important corpus réutilisé comme matériau d'étanchéité pour le chaland gallo-romain Lyon Saint-Georges 4 et les premières études microscopiques réalisées montrent d'ores et déjà l'intérêt d'étendre cette méthodologie à un plus grand nombre de textiles. Différents champs pourront être explorés comme la présence de fibres végétales ou les choix de qualités de fils effectués pour fabriquer les étoffes. Ces données pourront donner, nous l'espérons, des pistes pour la recherche de l'emploi précédent de ces tissus.

Remerciements

Nous tenons à remercier ARC Nucléart pour l'utilisation des infrastructures, ainsi que le musée du Quai Branly-Jacques Chirac, Tara Chapron pour la qualité de son travail, qui a permis de mettre ces résultats en perspective et enfin Marc Guyon, de l'INRAP, qui nous apporte son aide dans ces recherches et a réalisé le plan de localisation.

Références bibliographiques

- Buhren V. de** (2008), « La conservation des tissus en milieu humide. Quel traitement pour permettre une présentation muséographique de ces vestiges fragiles ? », dans Bailly-Maître M.-C., Jourdain-Annequin C., Clermont-Joly M. (dir.), *Archéologie et paysages des mines anciennes : de la fouille au musée*, Paris, Picard, p. 137-141.
- Catling D., Grayson J. E.** (1982), *Identification of vegetable fibres*, Londres, New-York, Chapman and Hall, 89 p.
- Chapron T.** (2018), *Contribution à l'archéologie des textiles : caractérisation et circulation de la laine dans l'Antiquité*, rapport de master 1 en Archéologie, sous la direction de Nathalie Ginoux et Christophe Moulherat, université de Paris 4 Sorbonne, 85 p.
- Gabra-Sanders T., Ryder M. L., Williams A.E.** (1984), « Internal medulla of hair revealed by scanning electron microscopy », *Journal of Microscopy*, vol. 134, mai 1984, p.189-192.
- Gay M.-C., Monroq R.** (1972), « Identification des fibres textiles naturelles par examen microscopique », *Annales du laboratoire de recherche des musées de France*, 1972, p. 16-22.
- Harran N.** (2019), « Mode et beauté à l'époque gallo-romaine, dossier pédagogique de l'Exposition du 6 avril au 7 juillet 2019 », 20 p. Disponible sur : <<https://musees.ville-senlis.fr/Ressources-documentaires/Ressources-pedagogiques>>
- Médard F.** (2010), « Les tissus associés à la construction des chalands gallo-romains du Parc Saint-Georges (Lyon), I^{er}-III^e siècles ap. J.-C. », dans Rieth É. (dir.), *Les épaves de Saint-Georges Lyon - I^{er}-XVIII^e siècles*, Paris, CNRS Éditions (coll. Archaeonautica), p. 136-146.
- Médard F.** (2014), « Les tissus associés à la construction du chaland Arles-Rhône 3 : qualité et gestion de la matière première », dans Marlier S., Andrieu-Ponel V. (dir.), *Arles-Rhône 3 : un chaland gallo-romain du 1^{er} siècle après Jésus-Christ*, Paris, CNRS Éditions (coll. Archaeonautica), p. 116-125.
- Meunier L., Guyon M.** (à paraître), « Caulking textiles from the Lyon Saint-Georges 4's shipwreck : recording and conservation questions », dans Schofield E. (dir.), *Proceedings of the 14th ICOM-CC group on Wet organic archaeological materials Conference*, Southampton, 2019.
- Moulherat C.** (1999), « Le microscope électronique et le microscope métallographique inversé, nouveaux outils au service de l'identification des fibres minéralisées par les produits de corrosion métallique », dans Meyer-Roudet H. (dir.), *À la recherche du métal perdu, nouvelles technologies dans la restauration des métaux archéologiques*, Paris, Errance, p. 63-64.
- Moulherat C.** (2008), « L'archéologie des textiles, une nouvelle discipline au service de la connaissance et de la compréhension des sociétés humaines », *L'actualité chimique*, N° 318, avril 2008, p. 30-34.

Taylor M. A. (3^e éd. 1990), *Technology of textile properties, an introduction*, Londres, Forbes Publication, 354 p.

Wildman A. B. (1954), *The microscopy of animal textile fibres*, Leeds, Wira, 209 p.

Les auteurs

Laure Meunier Chercheuse indépendante IFIRES, restauratrice à ARC Nucléart, lauree.meunier@gmail.com

Christophe Moulherat PhD en Anthropologie, Ethnologie, Préhistoire, musée du quai Branly-Jacques Chirac, christophe.moulherat@quaibranly.fr

DÉCOUVERTE EXCEPTIONNELLE À CLUNY (71) : QUAND UN TRÉSOR CACHE DES TRÉSORS...

FLORENT DUVAL, DELPHINE GILLOT

Résumé 2017 : le site médiéval de Cluny est le lieu d'une découverte exceptionnelle, une équipe d'archéologues a mis au jour un dépôt d'environ 2000 monnaies d'argent dissimulant, en son sein, un contenant en cuir laissant apparaître plusieurs artefacts en or. Cet ensemble se révèle rapidement majeur pour cette période : son étude et sa conservation sont alors au centre de toutes les attentions. La collaboration scientifique et l'appui du conservateur-restaurateur offrent clairement la solution pour la réussite d'un projet pluridisciplinaire autour de ce trésor composite.

Mots-clés : Cluny, dépôt monétaire, or et argent, cuir médiéval, potentiel informatif

Contexte

L'abbaye de Cluny (Saône-et-Loire) est un ensemble monastique important, particulièrement entre le x^e et le xii^e siècle, ce qui lui vaut d'être le sujet d'un vaste programme de recherche. Dirigée par Anne Baud (université Lyon 2) et Anne Flammin (UMR ArAr, CNRS), la campagne de fouille programmée de 2017 a mis au jour un trésor médiéval enfoui dans l'enceinte de l'infirmerie. Pour prévenir tout risque de vol, il est rapidement prélevé en lots et déposé au laboratoire CREAM.

À ce stade, soit 24 heures après sa découverte, l'ensemble se compose de monnaies médiévales en argent à bas titre et d'un contenant en cuir renfermant des éléments en or visibles à travers les déchirures (**fig. 1**). Selon les données de fouille, le soin dont a fait preuve le dépositaire dans l'agencement de l'ensemble peut s'interpréter comme un témoin manifeste de son idée personnelle du dépôt : le contenant en cuir est un trésor qu'il a rangé prudemment au cœur d'un pécule monétaire avant de l'enfouir.

Cet ensemble est d'une richesse archéologique exceptionnelle pour le site de Cluny. L'équipe nous accorda sa confiance afin de prendre en charge cet ensemble d'artefacts et mettre en place un protocole de mise en conservation en amont des études scientifiques. Afin de répondre au mieux aux problématiques des archéologues, chaque intervention a été réfléchie et validée en collaboration avec les différents spécialistes.

L'objectif assumé est d'extraire le potentiel informatif de chaque objet sans donner de degré de priorité : comprendre l'ensemble sans sacrifier d'individu. Notre expertise scientifique et technique de conservateur-restaurateur nous permet de concevoir un protocole selon différents points de vue : conservation différentielle des matériaux, incidences des traitements mécaniques et chimiques sur les études scientifiques, phasage du protocole et documentation.

Cette dernière a été pensée comme une “récolte” d’informations : imagerie (film et photographies), relevés, échantillonnage.



Figure 1 L’ensemble du dépôt avant restauration. © Florent Duval, CREAM.

Entre éthique, prudence et choix technique

Est-il envisageable pour un archéologue d’étudier un trésor qu’il ne voit pas ? Il est en effet impossible de radiographier l’ensemble afin d’identifier les éléments en présence : l’or est radio-opaque et les rayons X peuvent altérer les composants organiques du cuir, compromettant ainsi les analyses élémentaires. Réponse : l’idée même en a fait pâlir certains !

La séparation des éléments, finalement décidée rapidement et mise en œuvre trois semaines après la découverte, a été réfléchi comme une micro-fouille. L’extraction, réalisée manuellement et en aveugle, se déroula comme une investigation archéologique en atelier : extraction de chaque élément avec une identification individuelle, une géolocalisation et une documentation méticuleuse de chaque positionnement (**fig. 2**). Aucun produit chimique ne fut employé, son action et son utilité ne pouvant être maîtrisés sur l’invisible. Toute l’opération a été photographiée et filmée par l’équipe scientifique partiellement présente.

Deux unités nous ont préoccupés : le contenant visible et le contenu inconnu. Le « nouet » est un matériau périssable, sa conservation est exceptionnelle dans ce contexte terrestre de roches majoritairement sédimentaires. Sa perte n’est pas une option, tout comme l’extraction des objets, qui est essentielle. Nos aptitudes techniques nous ont permis d’évaluer les altérations du matériau, de les tourner à notre avantage afin de réaliser cette opération sans perte. Les objets en or contenus dans le « nouet » sont extraits un à un : 21 monnaies en or sont d’abord isolées, sans difficulté, par les déchirures naturelles (**fig. 3**).

Le passage des autres artefacts n’étant plus possible par les lacunes, une coupure intentionnelle aux ciseaux est pratiquée sur une zone inférieure à 5 millimètres, offrant alors une grande ouverture (**fig. 4**). À l’aide de pinces aux embouts gainés et de spatules, les derniers

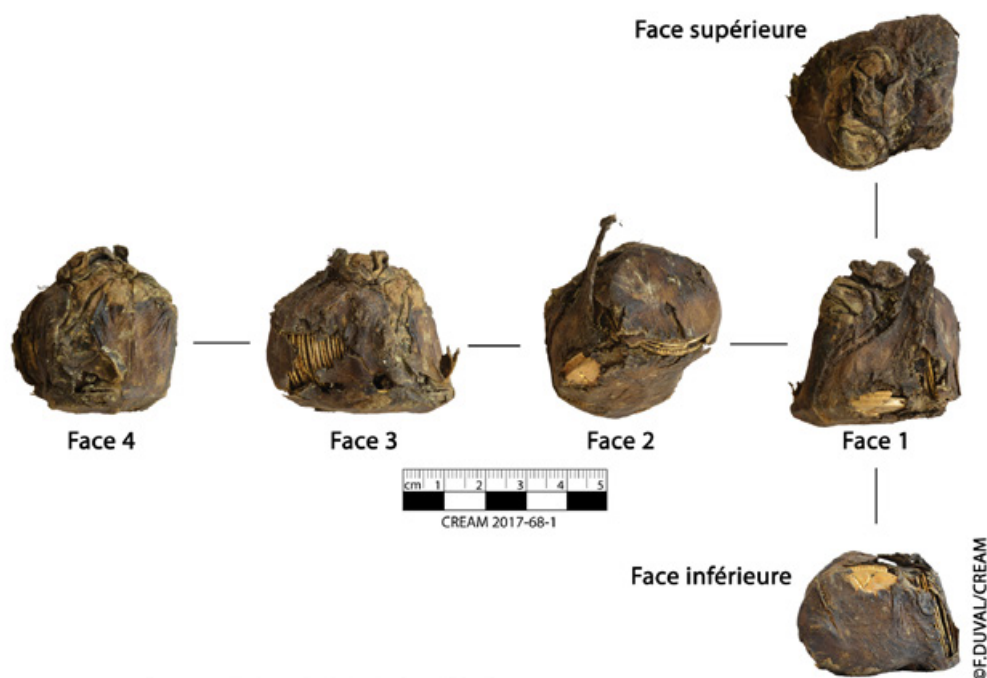


Figure 2 « Nouet » avant ouverture. © Florent Duval, CREAM.



Figure 3 Extraction d'une monnaie du « nouet ». © Florent Duval, CREAM.

objets sont extraits : une bague sigillaire, une pastille et un étui en cuir. Ce dernier est également ouvert manuellement en dépliant les rebords afin de sortir un objet rectangulaire indéterminé en or. L'ensemble était bien serré dans son contenant de $3,5 \times 3,5 \times 2,5$ cm (**fig. 5**). Outre la coupure intentionnelle, le cuir a subi très peu de dommages lors de cette opération, seules quelques pertes de matière pulvérulente sur les bords dégradés. Tout a été précautionneusement conservé en tube stérile et papier aluminium pour de possibles analyses



Figure 4 Détail de la zone découpée intentionnellement. © Florent Duval, CREAM.



Figure 5 Restitution de la position des objets au sein du « nouet ». © Florent Duval, CREAM.

ultérieures. Cette intervention a été menée rapidement : le cuir était souple, dans un état de conservation post-fouille optimal. Attendre aurait peut-être induit une modification des caractéristiques mécaniques du cuir ; une prise en charge rapide nous a semblé essentielle pour faciliter la préservation et l'étude.

Les éléments en cuir ont été mis en conservation deux ans après l'extraction des éléments. Les études, incluant l'imagerie, des analyses élémentaires et des observations multiples, furent entreprises graduellement et il fut décidé de ne procéder à aucune intervention directe avant la fin de cette étude. Seule une mise en atmosphère stable et contrôlée en boîte hermétique a permis de conserver le cuir dans un état satisfaisant. Malgré une épaisseur de 0,3 millimètres en moyenne, l'état de conservation des cuirs est exceptionnel : la texture souple contraste avec un aspect brut et leur préservation induit probablement une fabrication de qualité. Les altérations sont plutôt d'ordre mécanique : lacunes, déchirures, délaminations des bords. La mise en conservation des cuirs se limita à la pose d'une interface souple libre en papier Tarantula® pour éviter les frottements et la fermeture de la coupure réalisée par nos soins avec un intissé Hollytex® encollé à la Beva Film® et posé à la spatule chauffante (fig. 6).



Figure 6 « Nouet » après restauration. © Delphine Gillot, CREAM.

Traitement des éléments en or et du dépôt monétaire d'argent

Avant toute intervention, la question de l'échantillonnage s'est posée. Systématiquement, les poudres, miettes et autres fragments épars ont été sauvegardés dans des tubes à essai stériles et des papiers aluminium / sachet Minigrip® avec une identification claire. Ce protocole double s'appuie sur des directives scientifiques. L'usage de solvants ayant été très limité, tant par la quantité que par les zones d'application, des prélèvements ultérieurs restent possibles au cas par cas.

Une documentation exhaustive a été entreprise avant traitement pour les objets en or et leur contenant : prises de vue orthonormées, cartographie du nouet, constat d'état et observations précises avec annotations. L'intervention de mise en conservation se focalisa sur des opérations de conservation préventive en tout premier lieu, de conservation curative localement et quelques gestes de restauration pour la lisibilité des surfaces et donc l'étude scientifique.

L'ensemble des objets en or est dans un excellent état de conservation. L'étude étant toujours prioritaire, le traitement s'est résumé à un nettoyage, au coton imbibé d'éthanol, uniquement sur les objets qui ne subiraient pas d'analyses physico-chimiques. La mise en conservation est finalement assurée par un conditionnement adapté. Les éléments plats sont insérés dans des pochettes agrafées (carton neutre et feuille de polyester), tandis que des mousses polyéthylène (Plastazote®) découpées à la forme reçoivent les objets en volume. Les objets sont alors manipulables et étudiables.

Les 21 monnaies en or sont des dinars almoravides émis entre 1106 et 1144 par la dynastie berbère régnant en Espagne musulmane et au Maghreb. L'Europe du XII^e siècle ne frappant pas de monnaies en or, ces dinars, ou marabotins, ont une valeur marchande forte, mais aucune connotation religieuse (fig. 7). Les surfaces ne présentent que quelques résidus exogènes peu adhérents et les structures de légères déformations sans conséquence. Aucun traitement curatif n'a été nécessaire.

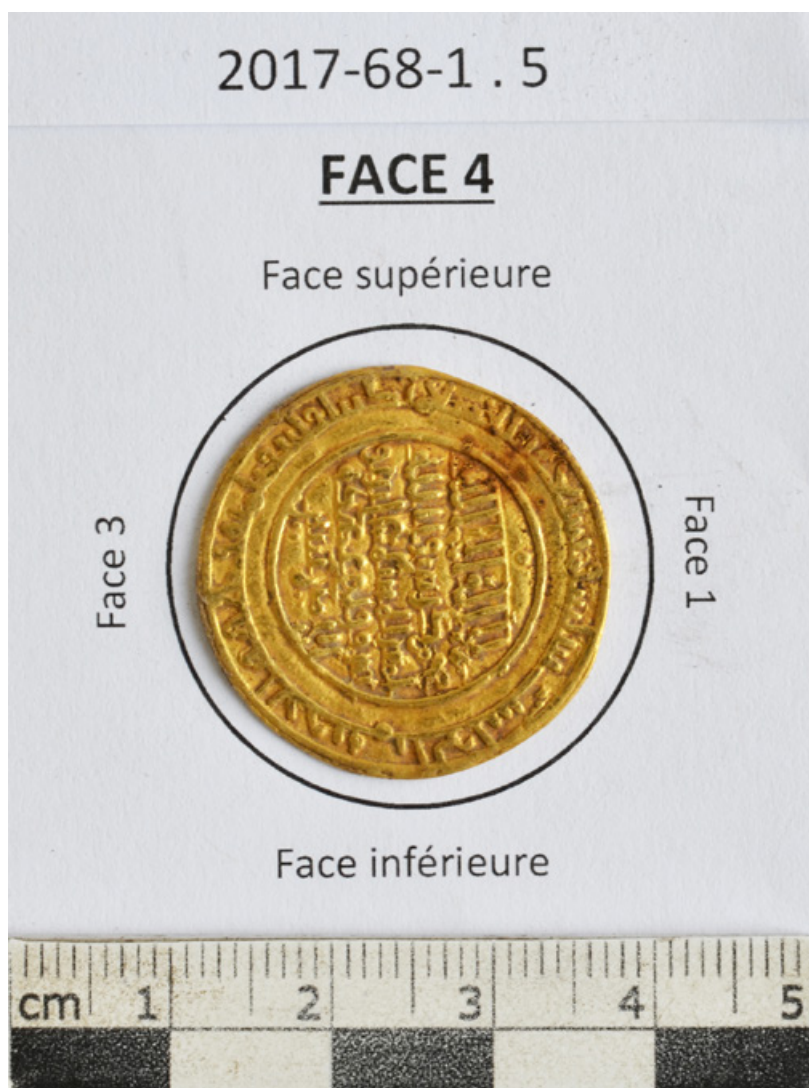


Figure 7 Prise de vue localisée d'un dinar. © Florent Duval, CREAM.

L'anneau sigillaire est composé d'une intaille antique en cornaline, représentant l'empereur Caracalla (211-217), en remploi sur une monture médiévale portant l'inscription /A VE TE/. La bague est de grande dimension et devait être portée au pouce sur un gant (**fig. 8**). La structure et les surfaces sont dans un état de conservation exceptionnel; un constat sous loupe binoculaire a permis de vérifier minutieusement les zones potentielles de faiblesse, sans en trouver aucune.



Figure 8 Anneau sigillaire après nettoyage. © Delphine Gillot, CREAM.

Le rectangle indéterminé en or a été analysé par micro-tomographie à rayons X au synchrotron de l'ESRF (*European synchrotron radiation facility*, Grenoble). Il s'agit d'un entassement de feuilles d'or repliées sur elles-mêmes, 24 grammes d'or pouvant servir à dorer manuscrits ou œuvres d'art. L'état de conservation est excellent, aucun traitement n'a été entrepris.

La pastille en or de petite dimension reste indéterminée. Elle présente un quadrillage pouvant être un résidu de contenant en matériau organique. L'objet a été conservé en l'état pour éviter toute dégradation possible de restes périssables, d'autant que nous avons repéré un "vide" au sein du contenant en cuir à cet endroit. Celui-ci peut-il correspondre à l'emplacement d'un objet organique disparu? Pour l'instant, aucune hypothèse n'a été confirmée ou infirmée.

Les monnaies d'argent sont souvent peu lisibles car agglomérées les unes aux autres et masquées par les produits de corrosion du cuivre présent dans l'alliage. Bien que très fines, elles sont peu altérées. L'étude numismatique nécessite un niveau de nettoyage élevé afin d'individualiser chaque monnaie et de rendre leur surface entièrement lisible. Le traitement mécanique est proscrit car il entraîne des arrachages et rayures de surface. Des tests de traitement

chimique sont préalablement réalisés afin de définir un protocole de traitement en masse pour ce dépôt de plus de 2000 monnaies (**fig. 9**).



Figure 9 Bains de traitement des deniers d'argent : « sel de Rochelle », acide formique, rinçage. © Florent Duval, CREAM.

Les monnaies sont plongées par lots de 50 à 300 individus dans des bains agités de « sel de Rochelle » alcalin (15 % de tartrate de potassium et de sodium + 5 % de soude + 80 % d'eau déminéralisée). Les bains durent de 1 à 20 heures afin de dissoudre les carbonates de cuivre, responsables de l'agglomération. Les monnaies sont plusieurs fois rincées dans l'eau déminéralisée, puis triées. Celles qui présentent des plaques adhérentes de cuprite en surface sont à nouveau immergées dans des bains agités d'acide formique (à 20 % dans l'eau déminéralisée) pendant 2 à 15 heures. Chaque monnaie est ensuite frottée manuellement à l'eau déminéralisée et au « blanc de Meudon » (carbonate de calcium et argile) avec une brosse en soies de porc afin d'éliminer mécaniquement les résidus de produits chimiques, les produits de corrosion résiduels et les restes de sédiments. Un dernier dégraissage par bains d'éthanol est réalisé, puis chaque monnaie est individuellement protégée par un vernis de résine acrylique (Paraloïd® B72 à 2 % dans l'acétone) appliqué par immersion (**fig. 10**).

Toujours dans l'optique de ne perdre aucune information archéologique, certaines piles de monnaies sont conservées agglomérées. Le protocole de traitement a dû être adapté afin d'éliminer uniquement les produits de corrosion sur la surface externe des monnaies de la pile, tout en conservant les produits de corrosion internes, responsables de la cohésion de l'ensemble. Le « sel de Rochelle » est donc appliqué gélifié grâce à l'ajout de Laponite® RD. L'acide formique est à son tour appliqué sous forme de compresses à base de pulpe de papier (**fig. 11**).

Les piles de monnaies sont ensuite rincées plusieurs fois à l'eau déminéralisée puis brossées au « blanc de Meudon ». Enfin, le vernis acrylique est appliqué au pinceau sur toutes les surfaces accessibles. Dans un second temps, une fois les empilements étudiés, la désolidarisation totale des monnaies agglomérées a été décidée en accord avec le numismate. Le traitement a donc été réitéré de manière similaire, sans utilisation de gel.

Quelques monnaies conservent des restes textiles sur l'une de leurs faces. Ce sont les seuls témoins matériels de l'élément en tissu contenant l'ensemble du dépôt. Les restes textiles sont peu minéralisés, donc pulvérulents. Certains sont consolidés avec une résine acrylique



Figure 10 Deniers en argent après traitement. © Florent Duval, CREAM.



Figure 11 Pile en cours de traitement par compresses. © Florent Duval, CREAM.

(Paraloïd® B72 à 10 % dans l'éthanol), afin de conserver la forme générale et l'implantation des fibres textiles. D'autres restes sont laissés tels quels en vue de futures analyses. Toutes les monnaies sont finalement conditionnées en pochettes agrafées, placées dans des planches intercalaires plastifiées.

Le traitement des monnaies en argent a permis de recenser 2119 deniers et 150 oboles. L'écrasante majorité a été émise par l'abbaye de Cluny et présente exactement le même type. Seuls sept deniers sont de types différents et une seule monnaie modifie la datation de tout le dépôt, d'où l'impérieuse nécessité de désolidariser toutes les monnaies. De plus, la bonne conservation des surfaces et un dégagement minutieux rendent possibles l'identification et le comptage des coins monétaires.

Conclusion

Le dépôt de Cluny est un trésor monétaire par définition, car il se compose de plus de 2000 deniers en argent volontairement enfouis en une seule fois au XII^e siècle pour des raisons encore actuellement inconnues.

Contrairement à la majorité des trésors monétaires découverts fortuitement, sa présence en contexte de fouille programmée en fait un « trésor » archéologique car elle met au jour des informations habituellement perdues (localisation, contexte, contenant).

De plus, le dépôt cachait en son sein un « trésor » constitué d'objets inédits en or. À elle-seule, la bague sigillaire peut être qualifiée de « trésor » car c'est un objet historique unique. Aujourd'hui nommé « trésor de Cluny », l'ensemble est en fait une pluralité de trésors, archéologique, historique, technique, scientifique, ...

Notre intervention de nettoyage, individualisation et mise en conservation a été dictée par le souci de faciliter l'accès au potentiel informatif de chaque artefact et de les préserver sans compromis. De par sa nature composite, la conservation et l'étude de ce trésor a impliqué plusieurs domaines transversaux : archéologie, archéométrie, numismatique, ... un exemple de collaboration pluridisciplinaire avec la conservation - restauration comme pivot logistique et technique.

Les auteurs

Florent Duval Conservateur-restaurateur,
Centre de Restauration et d'Études Municipales « Gabriel Chapotat » (CREAM), 11 rue du 24 avril 1915, 38200 Vienne,
fduval@mairie-vienne.fr

Delphine Gillot Conservateur-restaurateur, Centre
de Restauration et d'Études Municipales « Gabriel Chapotat » (CREAM), 11 rue du 24 avril 1915, 38200 Vienne,
delphinegillot@wanadoo.fr

PATRIMOINE CONTAMINÉ : CONSERVONS LES RESTAURATEURS !

HENRI BERNARD-MAUGIRON, SOPHIE FIERRO-MIRCOVICH, FLORIANE HÉLIAS,
EMILIE THOMAS

Résumé Présentation de deux cas d'intervention sur des collections organiques contenant des produits toxiques exigeant des mesures de protection sanitaire des opérateurs.

La quantité de vestiges archéologiques submergés dans l'anse Saint Gervais du Golfe de Fos, est importante. On y reconnaît effectivement les restes du grand port antique de *Fossae Mariana*.

À proximité de la plage de la pointe Saint Gervais un tonneau en bois a été repéré en 1987 et prélevé en 1988. Traité par la méthode Bouis après son excavation, il était, depuis, présenté au musée d'Istres. L'intervention sur un objet avec des sels de chrome, toxiques et classés cancérigènes, a demandé la mise en place de mesures sanitaires particulières, qu'il a fallu revoir au cours des opérations en raison d'une sous-évaluation initiale du risque et du constat de surexposition du restaurateur à ces substances.

8000 ex-voto gallo-romains en bois sont conservés humides depuis leur découverte à Chamalières en 1968. Ils sont stockés depuis 2010 dans des sachets remplis d'eau contenant les traces d'un biocide désormais interdit à la vente du fait du caractère cancérigène d'un de ses principes actifs. Suite à une défaillance de stockage, les conditionnements ont été détruits. Le présent texte expose la méthode de travail retenue pour sauvegarder les objets dans l'urgence tout en assurant la sécurité des personnels face au risque chimique.

Mots-clés : tonneau, Bouis, chrome, risques sanitaires, valeur limite d'exposition professionnelle, ex-voto, Cryptogil®, pentachlorophénol.

Tonneau de Fos sur Mer : reprise de restaurations et risques sanitaires

C'est à proximité de la plage de la pointe Saint Gervais, à Fos-sur-Mer, qu'un tonneau en bois, daté au carbone 14 du 1^{er} siècle de notre ère, a été prélevé à l'occasion de fouilles sous-marines, en 1988.

La barrique, invention gauloise, un temps concurrencée par les amphores romaines, s'est imposée du fait de ses nombreux avantages : grande contenance, légèreté, résistance et maniabilité (Sciallano, 1991). On en retrouve en fouilles, essentiellement dans les régions au nord-est de Lyon, en France, Belgique et Allemagne, souvent en réemploi. Dans le bassin méditerranéen on n'en compte à ce jour que deux exemplaires, ce qui fait de ce tonneau une découverte exceptionnelle.

Le tonneau a été pris en charge en 2016, au musée d'Istres, où il était présenté en vitrine. La surface du bois était très empâtée et sombre, avec de nombreux dépôts blanchâtres

correspondant à l'application, pendant de nombreuses années, de cire d'abeille. De nombreuses cassures visibles, avaient anciennement été recollées avec du joint silicone (**fig. 1**).



Figure 1 Le tonneau avant reprise de restauration. © ARC-Nucléart.

À sa sortie de fouille, le tonneau avait été traité par un procédé mis en œuvre sur les bois archéologiques gorgés d'eau par Jean Bouis (Colloque WOAM Grenoble), ingénieur du DRASSM¹. La bibliographie à ce sujet est quasiment inexistante. Il semblerait que l'application reprenne le brevet initial déposé en France en 1965 par Garrouste (Mühletaler, 1973).

Le protocole commence par un nettoyage en immersion dans une solution de 1 % d'acide chlorhydrique pour éliminer toutes traces de carbonate de calcium. Bouis, lui, préconise une concentration de 15 % du même acide. La consolidation se fait ensuite dans une solution de 2 à 10 % d'anhydride chromique avec la possibilité d'ajouter 10 à 20 % de bichromate de sodium. Garrouste, recommande deux mois d'imprégnation à pression atmosphérique par centimètre pour les bois de cœur. Pour les objets massifs, il est recommandé d'injecter la solution sous pression à différents endroits, après quoi l'objet doit être immédiatement immergé dans la solution pour une longue durée. Ensuite, les objets sont séchés à air libre sans contrôle de l'humidité relative. Ils deviennent brun-rouille, légers, poreux et ne présentent plus de changements dimensionnels avec les variations d'humidité relative. Toutefois, ils restent cassants et nécessitent une consolidation complémentaire par imprégnation avec un agent solidifiant. Selon le type d'objet, le brevet recommande des mélanges de cire, de l'huile de lin ou des résines synthétiques thermodurcissables. Bouis indique la nécessité d'un bain de fixation en acide linoléique.

Ce procédé, appliqué au tonneau de Fos-sur-Mer, aboutit à la disparition d'une inscription gravée sur le fond du tonneau qui avait pu être relevée par les archéologues à la sortie de fouille. On suppose que l'acide a rongé la surface du bois et occasionné la perte de cette

¹ Département des Recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines

information (**fig. 2**). Le bois présente un état de consolidation très hétérogène, avec des déformations et des colorations disparates (**fig. 3**).

À l'atelier, les reprises de restauration ont consisté, notamment, à retirer les excès de cire en surface, par fusion au décapeur thermique, puis à démonter et remonter totalement le tonneau.

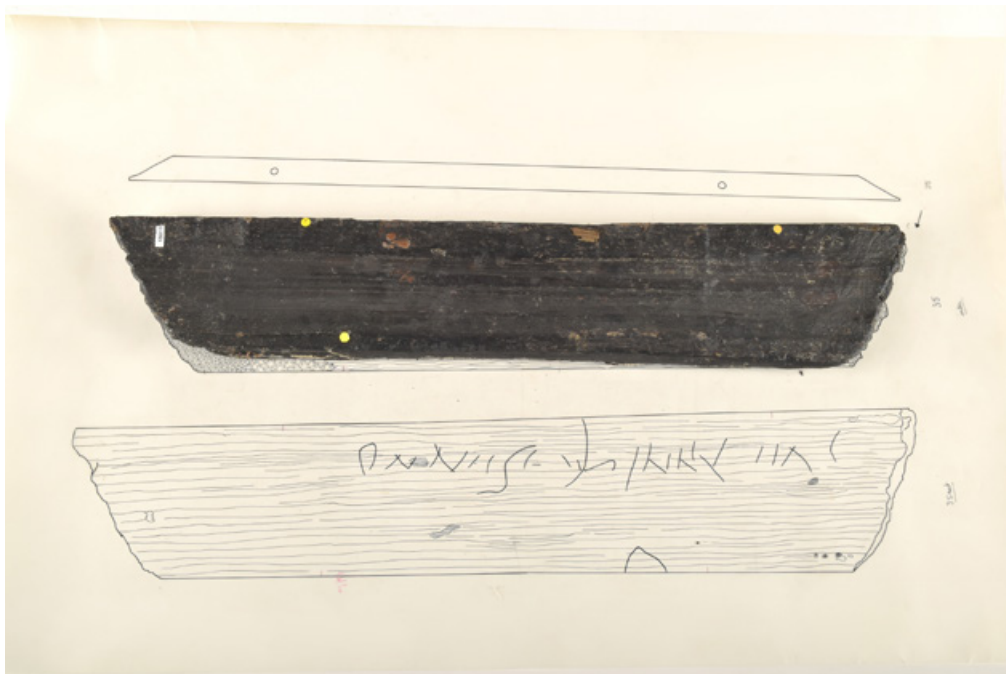


Figure 2 Perte des inscriptions suite au traitement Bouis. © ARC-Nucléart.



Figure 3 Consolidation hétérogène à cœur. © ARC-Nucléart.

Le chrome est un élément métallique naturel de la croûte terrestre. Seuls les composés tri-valents et hexavalents sont retrouvés de manière significative dans l'environnement. Pour le chrome VI, les rejets industriels en sont la principale cause. En milieu professionnel, l'inhalation est la principale voie d'exposition au chrome VI, considéré comme cancérigène certain par le CIRC². Les cancers associés sont les cancers des poumons, des cavités nasales et des sinus.

Il avait donc été prévu au devis des mesures de protections adaptées : gants, masque respiratoire à particules, suivi médical mensuel ; ainsi qu'un retraitement des déchets par une société spécialisée.

Ayant un doute sur la quantité de poussière produite, l'APAVE³ est venue mesurer la VLEP⁴ au cours des opérations. Elle a révélé une surexposition évidente du restaurateur aux poussières toxiques, tandis que l'ambiance générale de l'atelier n'était pas atteinte.

Le protocole de sécurité a donc été révisé. La protection du collectif primant sur l'individuelle, une enceinte de confinement a été réalisée pour poursuivre les reprises de restauration. Ensuite, les EPI⁵ ainsi que le suivi médical de l'opérateur ont été renforcés avec une combinaison intégrale en Tyvek®, un masque soufflant et des analyses urinaires hebdomadaires (**fig. 4**).



Figure 4 Conditions de travail au vu des risques sanitaires. © ARC-Nucléart.

² Centre international de recherches sur le cancer.

³ APAVE : entreprise spécialisée dans la maîtrise des risques.

⁴ Pour prévenir la survenue de pathologies d'origine professionnelle dues à l'exposition à un polluant dangereux, le législateur définit des niveaux de concentration dans l'atmosphère de travail à ne pas dépasser. Ce sont les valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP).

⁵ Equipement de protection individuelle.

L'archéologie est souvent considérée comme une science de la destruction qui tire son information de ce qu'elle détruit progressivement au fur et à mesure de l'étude. Dans le cas présent, un travail de documentation avait été réalisé très minutieusement par les archéologues. Par ailleurs, la contextualisation, dans les musées archéologiques, se fait de plus en plus sur des supports immatériels à l'aide de divers outils numériques. La nécessité de cette intervention, au final très lourde, ne se justifie donc que par la valeur intrinsèque de l'objet archéologique (fig. 5).



Figure 5 Le tonneau après reprise de restauration. © ARC-Nucléart.

La transversalité présente alors un intérêt non négligeable. Les travaux sur l'histoire des techniques anciennes de conservation-restauration⁶, la politique active de recensement des collections traitées par le DRASSM, mais aussi la collaboration avec les services de santé et de sécurité au travail, sont autant d'atouts permettant d'assurer la pérennité des biens archéologiques mais aussi la conservation des restaurateurs.

Les ex-voto de Chamalières. Reconditionnement et risque sanitaire

Contexte

Le site de la Source des Roches, commune de Chamalières proche de Clermont-Ferrand, Puy-de-Dôme, a fait l'objet de fouilles de sauvetage en 1968 et 1970. Un sanctuaire de plein

⁶ Les travaux sur l'histoire de la conservation-restauration sont relativement rares mais néanmoins essentiels. À noter la thèse de doctorat en archéologie de Clotilde Proust en 2017 : *Les ateliers du musée des Antiquités nationales : aux origines de la restauration en archéologie*.

air gallo-romain (I^{er} av. J.-C.-IV^e ap. J.-C.) y a été mis au jour. La découverte en milieu humide d'une exceptionnelle série de près de 10 000 ex-voto en bois en fait la collection la plus importante d'ex-voto antiques de toute l'Europe. Une partie d'entre eux a été traitée et restaurée, mais plus de 8 000 autres sont encore stockés à l'état humide. Pendant les premières années de stockage, un biocide, le Cryptogil®, a été utilisé pour limiter le développement des microorganismes dans l'eau. Le Cryptogil® est désormais interdit à la vente depuis les années 90. Il contient, en effet, du pentachlorophénol, dont le caractère toxique et cancérigène a été démontré.

La conservation des ex-voto humides se fait depuis quelques années dans un *container* régulant la température à 18 °C (**fig. 6**). Chaque objet, plongé dans de l'eau contenant malheureusement des traces de Cryptogil®, est conditionné sous gaine plastique thermo-soudée placée en bacs plastiques gerbés sur plusieurs niveaux.



Figure 6 Container de stockage des ex-voto. © ARC-Nucléart.

Incident

Une panne de réfrigération du *container* en 2018 associée à la canicule estivale a entraîné une augmentation significative de la température à l'intérieur du *container* (proche des 100 degrés Celsius). Mi-septembre, à l'occasion d'un contrôle de routine du *container*, une importante émanation gazeuse chimique (vapeur blanche et forte odeur acide) est constatée à l'ouverture des portes. Cela justifiera l'intervention en urgence de la brigade chimique du

SDIS. Les hautes températures ont provoqué l'endommagement des caisses et des gaines thermo-soudées (**fig. 7**), l'évaporation de quelques contenus ainsi que des écoulements en partie basse du *container*.



Figure 7 L'ensemble des caisses de stockage est endommagé. © ARC-Nucléart.

Le constat est immédiat, il faut faire face à une catastrophe patrimoniale combinée à un risque chimique. Les ex-voto qui n'ont pas encore séché doivent être replacés en condition humide au plus vite. L'intervention doit être nécessairement réalisée dans les plus brefs délais mais, cependant, il est indispensable de la préparer le plus en amont possible. Les intervenants devront se protéger du risque chimique généré par la présence disséminée du pentachlorophénol sous forme liquide ou cristallisée.

Montage de l'opération

Précédant l'exécution de l'opération, deux journées de multiples échanges seront employées à concevoir une procédure d'intervention.

Dans un premier temps, l'identification de tous les intervenants a permis de se rapprocher, sous l'égide du DRAC-SRA (service régional de l'Archéologie), du SDIS (service départemental d'Incendie et de Secours) du Puy-de-Dôme, de l'entreprise Valvert, spécialisée dans le travail en milieux pollués, d'ARC-Nucléart, spécialisé dans le traitement des bois archéologiques gorgés d'eau et, enfin, des services de santé et de sécurité au travail du CEA-Grenoble. Il a été prévu que la réouverture du *container* se ferait sous le contrôle des sapeurs-pompiers. Si l'évaluation des conditions par le capitaine de la brigade chimique permettait de lever le doute et autorisait l'intervention, la zone de travail face à l'entrée du *container* serait circonscrite à un bac de rétention d'environ 15 mètres par cinq (**fig. 8**).



Figure 8 Un bac de rétention équipe toute la zone d'intervention. © ARC-Nucléart.

Tous les effluents et les déchets seraient recueillis pour analyse et destruction selon leur nature. Un barnum serait installé pour s'abriter du soleil. Les protections individuelles devraient prendre en compte les risques de contact cutané et d'inhalation. En conséquence, le port de bottes, de combinaisons et de gants adaptés au risque chimique ainsi que des lunettes de protection devrait s'ajouter à l'obligation de se doter de masques respiratoires filtrants (**fig. 9**). D'un point de vue sanitaire, des analyses d'urine, pour recherche de pentachlorophénol, seraient menées avant et après l'intervention des deux restaurateurs.



Figure 9 Protection individuelle contre les risques chimiques.
© ARC-Nucléart.

Prévu pour durer trois jours, le sauvetage de la collection d'ex-voto a reposé sur une équipe composée d'un agent du SRA connaissant parfaitement le dossier, apte à coordonner le travail et à prendre les décisions sur le terrain, de trois techniciens expérimentés de l'entreprise Valvert, dédiés à la manutention des caisses et à l'évacuation des déchets, et de deux restaurateurs d'ARC-Nucléart ayant la maîtrise des bois gorgés d'eau afin de réaliser un premier constat d'état et de guider les premiers gestes de conservation préventive.

La mise en sécurité des 8000 ex-voto serait assurée par un tri et un reconditionnement provisoire en eau dans de nouveaux conditionnements.

La réalisation de la mission

Ouverture du container sous contrôle du SDIS

La porte du *container* a été ouverte le 25 septembre 2018. Sont constatés un nuage de vapeur blanche qui s'échappe, une odeur âcre et acide persistante ainsi qu'une chaleur résiduelle. Les sapeurs-pompiers ont immédiatement réalisé une série de mesures afin de s'assurer que les personnels pouvaient intervenir avec des garanties suffisantes de sécurité. Les mesures d'ambiance dans le *container* ont été faites au moyen d'un détecteur électrochimique 4 voies Draeger Xam 5000 et d'un AP4C (spectrophotomètre de flamme portatif, utilisé pour la détection des toxiques de combat, mais permettant également d'identifier divers toxiques organiques, dérivés arséniés ou cyanurés). Le contrôle du taux d'oxygène en partie basse et à hauteur des voies respiratoires s'est révélé normal. Aucun facteur d'explosimétrie n'a été détecté. Aucun composé chloré, arsénié ou cyanuré n'a été identifié. Le taux d'oxyde de carbone, après une légère dérive sans alarme, est rapidement revenu à 0 ppm. Les écoulements liquides en pied de *container*, contrôlés au moyen de papier pH, sont légèrement acides, avec un pH 5. Enfin, la mesure d'ambiance par tube colorimétrique acide ne signale rien.

Constat d'état



Figure 10 En raison de la chaleur et du poids des ex-voto, toutes les caisses ont perdu leur fond. © ARC-Nucléart.

Les caisses en polyéthylène, gerbées les unes sur les autres, ont leur fond systématiquement détaché (**fig. 10**). On suppose que la température à l'intérieur du *container* (muni de joints

d'étanchéité) s'est fortement élevée pendant l'été caniculaire et qu'elle a dû approcher des 100 °C. Le polyéthylène perdant sa résistance mécanique au-delà de 75-80 °C, le poids des ex-voto (une vingtaine de kilos par caisse) a enfoncé les fonds des caisses. Les caisses étant empilées sur plusieurs niveaux, un effet domino s'est produit. Le contenu de la caisse du haut a pesé sur le contenu de son voisin du dessous et ainsi de suite. Le contenu de la caisse du bas a supporté les plus grosses charges et a parfois été compacté d'un demi-volume (**fig. 11**).



Figure 11 Le fond des caisses ayant cédé, tous le contenu a pesé sur les ex-voto du dessous. © ARC-Nucléart.

Les gaines polyéthylène remplies d'eau ont parfois crevé, engendrant le séchage et la déformation de quelques ex-voto. Les gaines polyéthylène non crevées conservent généralement étonnement très peu d'eau et plaquent le volume des ex-voto (**fig. 12**). Ce phénomène provient sans doute de la réaction chimique du polyéthylène soumis à des températures proches de sa température de transition vitreuse. Le bois des ex-voto étant très mou, sa surface présente désormais l'impression en relief des plis de la poche plastique plaquée contre lui. La fragmentation des objets est souvent très importante.

Transfert des ex-voto

En deux jours et demi, avec l'aide efficace des trois employés de Valvert en renfort d'Emilie Thomas, de Floriane Hélias et d'Henri Bernard-Maugiron, l'ensemble des ex-voto a été sorti du *container* défaillant, placé dans de nouvelles caisses polyéthylène et transféré dans une semi-remorque réfrigérée programmée à 18 °C.

Le premier jour a consisté à sortir individuellement chaque ex-voto, à vérifier l'état de la poche (**fig. 13**), à remplacer chaque sac endommagé et à éliminer les objets détruits. Il est malheureusement devenu évident qu'à ce rythme, les 8000 ex-voto répartis en 240 bacs sur 10 palettes, ne pourraient être transférés dans la durée de l'intervention.



Figure 12 Le placage des sachets plastiques sur les ex-voto a engendré des déformations des bois. © ARC-Nucléart.



Figure 13 Contrôle de l'état des ex-voto. © ARC-Nucléart.

En conséquence, la procédure a été simplifiée en se limitant au transfert des sachets d'un bac endommagé à un bac neuf (**fig. 14**), en les disposant au mieux de façon à respecter la géométrie de chacun, et à orienter les poches de façon à conserver leur eau. Dans quelques cas, c'est la caisse endommagée encore manipulable qui a été transférée directement dans

un bac neuf. Un fond d'eau a été ajouté au fond des nouvelles caisses puis celles-ci ont été fermées à l'aide de film plastique étirable.



Figure 14 Transfert des ex-voto dans de nouveaux conditionnements.
© ARC-Nucléart.

Bilan

Malgré le risque chimique et la nécessité d'intervenir au plus vite pour la bonne conservation des ex-voto encore humides, le reconditionnement provisoire a été réalisé de façon satisfaisante tout en garantissant la sécurité des opérateurs. Les responsables peuvent désormais planifier l'avenir de la collection de façon plus sereine. Ce succès s'explique par une bonne organisation en amont, réduisant au maximum les improvisations dans l'action, une équipe pluridisciplinaire, complémentaire et à forte cohésion, une parfaite connaissance du dossier de la part du gestionnaire de la collection et, enfin, des partenaires institutionnels réactifs.

Conclusion générale

Ces deux exemples d'intervention sur des collections contaminées, le tonneau de Fos-sur-Mer et les ex-voto de Chamalières, soulignent la nécessité de l'étroite collaboration de toutes les parties prenantes en amont entre les différents acteurs du projet afin de garantir aussi bien la bonne conservation des objets que la sécurité des opérateurs.

Références bibliographiques

Tonneau de Fos-sur-Mer

Bouis J. (1984), *Le Sauvetage de l'épave de l'anse Gerbal à Port Vendres (Pyrénées Orientales)*, actes de la 2^e conférence du groupe de travail Bois gorgés d'eau de l'ICOM, CETBGE, Grenoble, p. 89-94

Mühletaler B. (1973), *Conservation of waterlogged wood and wet leather*, Eyrolles, p. 50-51.

Pomey P. (1992), *Recherches sous-marines*, Favira informations, p. 1-85.

Sciallano M. (1991), *L'art du tonnelier*, Istres, musée d'Istres, 38 p.

Cornuet R., Ramière R., De Tassigny R. (1975), *Application des techniques nucléaires à la conservation du patrimoine*, Eurisotop, monographie 38, p. 34-35.

Ex-voto de Chamalières

Romeuf A.-M., Dumontet M. (2000), *Les ex-voto gallo-romains de Chamalières (Puy-de-Dôme) : bois sculptés de la source des Roches*, Paris, Éd. de la Maison des sciences de l'homme, (coll. Documents d'archéologie française), 164 p.

Hiron X. (2011), *Rapport final de l'opération de tri, catalogage et décontamination de la collection humide des ex-voto de Chamalières*, Lythos.

Les auteurs

Henri Bernard-Maugiron Conservateur-restaurateur, ARC-Nucléart, henri.bernard-maugiron@cea.fr

Sophie Fierro-Mircovich Conservateur-restaurateur, ARC-Nucléart, sophie.fierro-mircovich@cea.fr

Floriane Hélias Conservateur-restaurateur, ARC-Nucléart, floriane.helias@cea.fr

Emilie Thomas Technicienne de recherche, DRAC Auvergne-Rhône-Alpes, SRA, emilie.thomas@culture.gouv.fr

LA STABILISATION DE LA CORROSION ACTIVE DES OBJETS ARCHÉOLOGIQUES EN ALLIAGE CUIVREUX AVEC *BEAUVERIA BASSIANA*

NAÏMA GUTKNECHT, EDITH JOSEPH

Résumé Des études récentes ont révélé la possibilité d'utiliser le champignon *Beauveria bassiana* sur les alliages cuivreux afin de convertir les produits de corrosion chlorés en oxalates de cuivre, qui sont plus stables. Cette étude vise à montrer les modifications engendrées par le traitement biologique sur la corrosion active en se concentrant sur les cas des pustules de corrosion et des surfaces étamées. Les résultats ont démontré que des chlorures de cuivre synthétiques étaient transformés en hydroxychlorures de cuivre, puis en oxalates de cuivre. Un développement d'oxalates de cuivre a été aussi confirmé sur des coupons corrodés artificiellement. De plus, le traitement a prouvé une stabilisation de la corrosion active sur des objets archéologiques de période romaine jusqu'à une certaine profondeur (des chlorures de cuivre étant présents à l'interface avec le cœur métallique des objets traités analysés). Dans le cas des objets étamés, les oxalates de cuivre se sont formés dans les zones lacunaires du revêtement d'étain.

Mots-clés : bronze, surface étamée, corrosion induite par chlorures, conservation durable, traitement de stabilisation.

Introduction

Depuis plusieurs années, il y a un intérêt grandissant pour la conservation « verte » et le développement de méthodes respectueuses de l'opérateur et de l'environnement. De tels exemples sont la biominéralisation produite par une souche du champignon *Beauveria bassiana*, produisant de l'acide oxalique, qui convertit les produits de corrosion réactifs en oxalates de cuivre plus stables. Cette approche écologique a été appliquée aussi bien sur des monuments extérieurs que des objets archéologiques (Joseph, 2011; Joseph, 2013; Domon-Beuret, 2015). Le travail présenté ici évalue les performances du traitement sur des pustules de corrosion et des surfaces étamées d'objets archéologiques en alliage cuivreux présentant une corrosion active. À cet effet, des produits de corrosion synthétiques, des coupons de bronze corrodés artificiellement et des objets archéologiques ont été traités avec la méthode de biominéralisation. Les modifications chimique et physique induites par le traitement ont ensuite été évaluées au moyen d'observations visuelles et de différentes techniques analytiques. Finalement, un essai de reprise de corrosion en atmosphère artificielle a été effectué sur l'ensemble des objets du corpus d'étude afin de confirmer la stabilisation sur le long terme du traitement biologique.

Les résultats présentés sont issus d'un travail de master en Conservation-restauration présenté en 2018 à la Haute École Arc (Neuchâtel, Suisse) par Naïma Gutknecht (Gutknecht, 2018) et effectué sous la supervision de la Prof. Edith Joseph. Il fait aussi l'objet d'une publication pour *Métal 2019*, prochaine conférence triennale du groupe Métal de l'ICOM-CC (Gutknecht et Joseph, 2019).

Matériel et méthodes

Du chlorure de cuivre (I) synthétique a été acquis auprès de Sigma-Aldrich (numéro CAS : 7758-89-6). Huit coupons en bronze (Cu90/Sn10) de format 60 x 60 x 2-3 mm coulés par la fonderie d'art Kunstgiesserei (Saint-Gall, CH) ont été corrodés artificiellement afin de reproduire des revêtements étamés et des systèmes de corrosion typiques d'un environnement archéologique terrestre (**fig. 1**). Les surfaces étamées étudiées ici arborent une structure métallique différente de celle des zones enrichies en étain présentes sur les monuments extérieurs en bronze testés lors d'études précédentes (Albini, 2017). Des systèmes de corrosion nantokite-cuprite (A), nantokite-cuprite-malachite (B) ont été générés sur les coupons par voies chimiques selon des recettes issues de la littérature (Leyssens, 2006). De la nantokite a aussi été produite sous les coupons étamés (C) (étain appliqué par électrolyse) par voie électrochimique (6 heures, OCP/+1V, bain NaCl 1M).



Figure 1 Schéma des systèmes de corrosion nantokite-cuprite (A), nantokite-cuprite-malachite (B), nantokite-étamage (C). © N. Gutknecht, He Arc, 2018.

Un corpus de dix objets archéologiques de période romaine présentant des pustules de corrosion et/ou étamés ont été prêtés par deux institutions patrimoniales suisses (**fig. 2**).

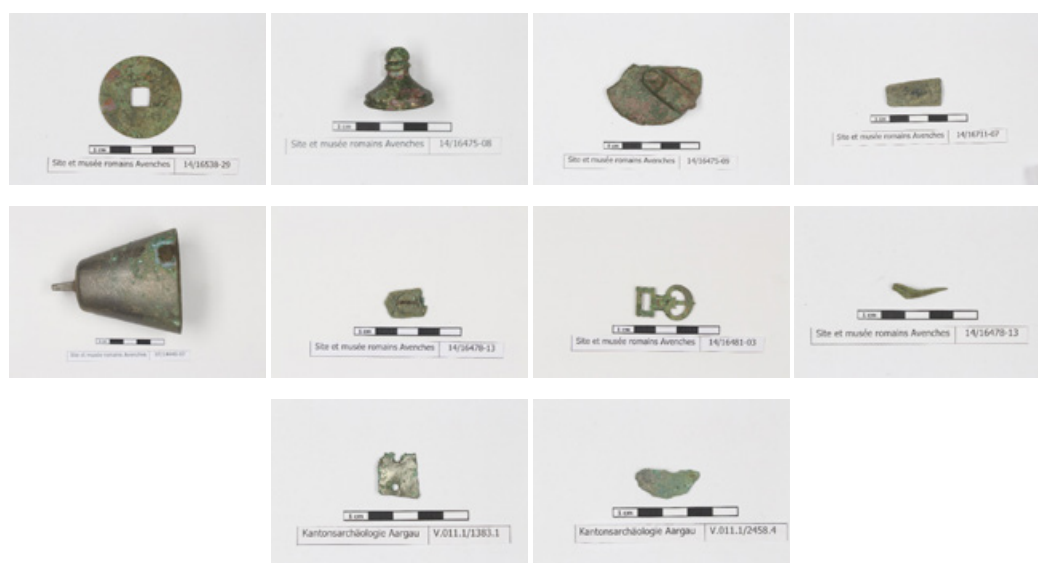


Figure 2 Corpus d'objets archéologiques de l'étude avant traitement. V.011.1/1383.1 et V.011.1/2458.4 sont étamés © N. Gutknecht, He Arc, 2018.

Le chlorure de cuivre (I), les coupons corrodés et les objets ont été traités au moyen d'un gel aqueux contenant *Beauveria bassiana* selon la procédure mise en place à l'université de Neuchâtel (Albini, 2016). La durée de traitement était de 7 jours pour les produits de corrosion synthétiques et les coupons et de 14 jours pour les objets. Le champignon s'est développé sur tous les systèmes et a été retiré en fin de traitement. Les coupons et les objets ont été rincés à l'éthanol (98 %), puis séchés dans une étuve à 40 °C avant d'être documentés et étudiés. Pour évaluer leur comportement à long terme, les objets ont finalement été exposés à une atmosphère artificielle agressive pendant 30 jours (60 cycles de 12 h au cours desquels la température est maintenue constante à 25 °C et l'humidité relative fixée selon le cycle suivant : 95 % pendant 4 heures et un intervalle de 2 h pour passer progressivement à 50 %, puis 50 % pendant 4 heures et un intervalle de 2 heures pour passer progressivement à 95 % (International Organization for standardization, norme 19701, 2003) en omettant l'étape de pulvérisation de solution saline. Un objet (14/16478-13) a été exposé à 100 % d'humidité relative pendant 15 jours.

Avant et après traitement, des échantillons ont été prélevés sur les coupons et certains des objets, puis englobés dans la résine époxy Struers® Specifix 20 et préparés en coupe transversale par polissage avec des tissus Micromesh™ avec une granulométrie progressive allant jusqu'à 6000. Une documentation visuelle a été effectuée au microscope optique (OM) Leica DX20 avec scanner 5MP.

Des mesures en spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier en mode réflectance totale atténuée (ATR-FTIR) ont été opérées au moyen d'un spectromètre IS5 Thermo Scientific (accessoire ATR en diamant iD5™). Pour la cartographie, un microspectromètre Nicolet iN10MX a été utilisé avec un objectif ATR et cristal ATR de germanium. Les spectres acquis avec 16 scans, entre 4000 et 650 cm⁻¹, à une résolution spectrale de 4 cm⁻¹, ont été traités au moyen du logiciel Omnic Picta.

Des mesures en spectroscopie Raman ont été réalisées avec un spectromètre Renishaw® InVia équipé d'un laser Nd :YAG 633nm. Les spectres ont été obtenus sous un objectif 100x, avec une ouverture de 1000 µm et une fenêtre de 100 µm, entre 4000 et 100 cm⁻¹, durant 40s (4 × 10s).

L'imagerie en électrons secondaires a été obtenue avec un microscope électronique environnemental Zeiss® Evo MA 10 couplé à un analyseur des rayons X à énergie dispersive (SEM-EDS), avec un voltage d'accélération de 10 à 25 keV et à une distance de travail de 10mm.

Résultats et discussion

La conversion du chlorure de cuivre (I) synthétique en un mélange d'hydroxychlorures de cuivre et d'oxalates de cuivre a été observée après sept jours par spectroscopie ATR-FTIR. Il apparaît que la conversion semble avoir lieu en deux étapes : une première étape d'hydrolyse due à l'application d'un traitement sous forme de gel aqueux et une deuxième étape comprenant la complexation des hydroxychlorures de cuivre par l'acide oxalique sécrété ici par le champignon.

Sur tous les coupons, la formation d'oxalates de cuivre a été confirmée (fig. 3 et 4). Un impact visuel fort à la suite du traitement a été observé par un changement de couleur de la surface des coupons. En effet, même si la composition chimique des coupons produits est représentative de celle présente sur des objets archéologiques, l'apparence d'objets corrodés en milieu archéologique n'a pu être complètement reproduite par les recettes utilisées. Ainsi, les

modifications visuellement amenées par le traitement ne sont pas celles constatées sur les objets du corpus. Les variations de couleurs ont été importantes. De plus, la faible épaisseur des couches de corrosion artificielle ont permis seulement un temps de traitement limité (7 jours) alors que, sur les objets, un temps de traitement plus long a été défini (14 jours) afin de stabiliser la corrosion active. Néanmoins, les analyses FTIR ont permis d'identifier la création d'oxalates de cuivre en surface des coupons (**fig. 4**). Les résultats obtenus ont permis de confirmer la capacité du traitement fongique à biominéraliser des surfaces corrodées et, ce, malgré la présence de chlore toxique pour le champignon qui n'a pu se développer de manière optimale.

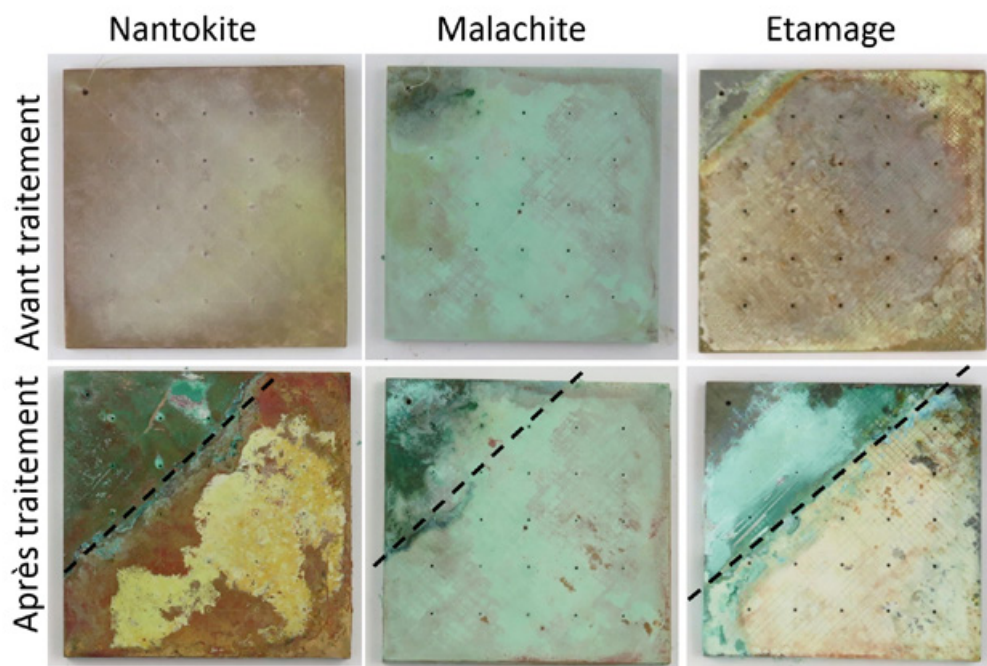


Figure 3 Coupons avec systèmes de corrosion nantokite-cuprite (a), nantokite-cuprite-malachite (b) et nantokite-étamage (c) avant et après traitement. La partie supérieure dans l'angle gauche de chaque coupon n'a pas été traitée pour comparaison. © N. Gutknecht, He Arc, 2018.

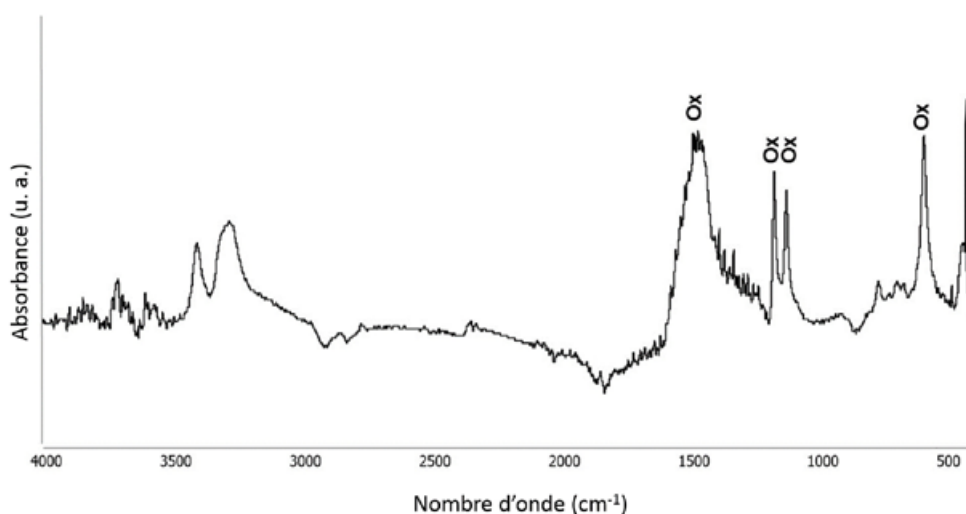


Figure 4 Spectre ATR-FTIR obtenu sur le coupon étamé B9 après traitement. Les bandes vibrationnelles caractéristiques des oxalates de cuivre sont indiquées avec l'abréviation Ox. Les autres pics présents sont attribués à des hydroxychlorures de cuivre. © N. Gutknecht, He Arc, 2018

Après traitement, l'apparence des objets archéologiques a présenté une tonalité verte plus claire suggérant la présence d'oxalates de cuivre, comme confirmé par les analyses ATR-FTIR et illustré par l'objet 14/16538-29 en figure 5.



Figure 5 Objet archéologique romain 14/16538-29. De gauche à droite : avant traitement, après traitement, après vieillissement accéléré. © N. Gutknecht, He Arc, 2018.

Sur les surfaces étamées, des agrégats en forme de rosette, typique des oxalates de cuivre, ont été observées, mais aussi complétant les lacunes du film d'étain (fig. 6 B et C). Néanmoins, dans ce cas, le film d'oxalates de cuivre a résulté en une surface plus mate et plus verte après traitement (fig. 6 A).

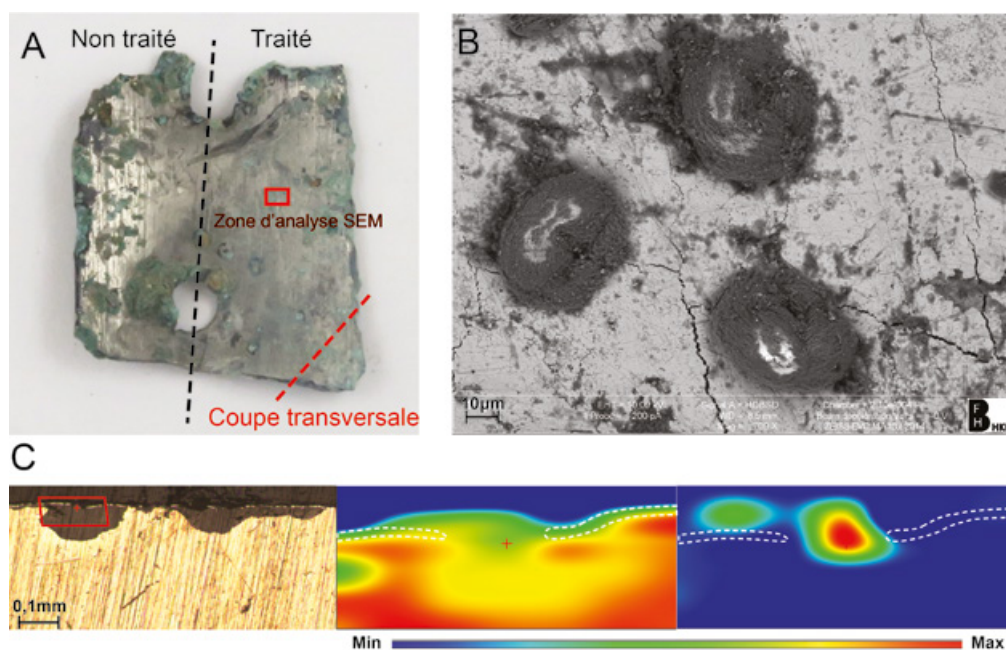


Figure 6 (A) Objet étamé n° V.011.1/1383.1 (Service archéologique du canton d'Argovie) après traitement, (B) image en électrons secondaires (SEM) des agrégats en forme de rosette, (C) de gauche à droite, micrographie indiquant avec un rectangle rouge la zone cartographiée en ATR-FTIR, cartographies de corrélation de la malachite et d'intensité du pic à 1365cm⁻¹ (oxalates de cuivre). © N. Gutknecht, He Arc, 2018.

Les analyses Raman effectuées sur l'objet n°07/14448-07 après traitement (**fig. 7**) ont montré que les chlorures de cuivre étaient toujours présents en profondeur dans les couches de corrosion de l'épaisseur de 2 mm. Néanmoins il est important de mentionner que les couches de corrosion étaient ici très épaisses et seulement partiellement minéralisées. À notre connaissance, aucun système de protection n'aurait pu pénétrer en profondeur ce type de substrat (Albini, M. *et al.* 2018).

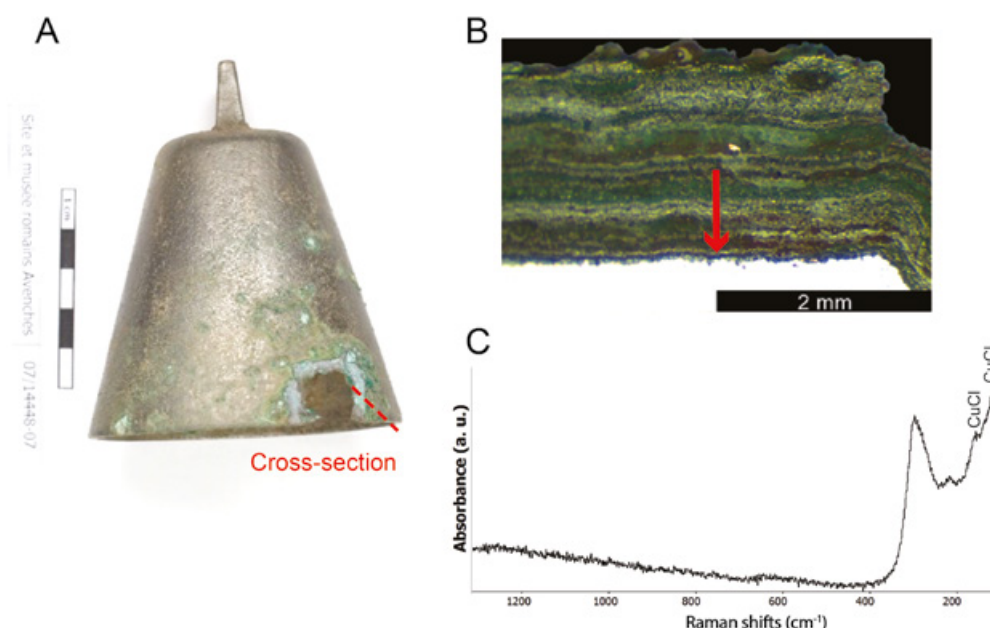


Figure 7 (A) Objet 07/14448-07 (sites et musée romains d'Avenches) après traitement; (B) micrographie indiquant par une flèche rouge la zone analysée par spectroscopie Raman; (C) spectre Raman correspondant montrant des shifts caractéristiques de la présence de CuCl. © N. Gutknecht, He Arc, 2018.

Néanmoins, aucun nouveau développement de corrosion n'a été constaté sur ce même objet après l'exposition au cycle d'atmosphère artificielle. Ceci suggère que le film d'oxalates de cuivre formé dans les parties supérieures des couches de corrosion a permis d'isoler les composés potentiellement réactifs et ainsi protéger l'objet d'une éventuelle corrosion future. La mise en chambre climatique des coupons et objets traités a permis de montrer que l'inhibition de la corrosion a été effective sur neuf des dix objets (**fig. 8**). Seul 14/16481-03 présentait une reprise de corrosion localisée, probablement due à un temps de traitement de 14 jours trop court (**fig. 9**). On devrait répéter l'application dans ce cas-là.

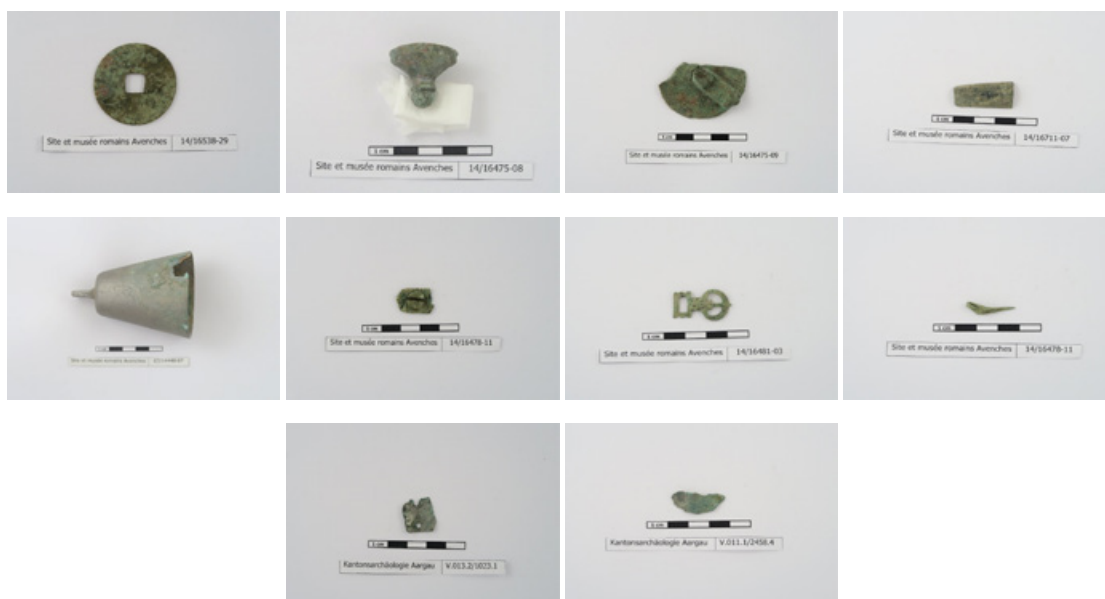


Figure 8 Corpus d'objets archéologiques de l'étude après traitement et vieillissement accéléré. © N. Gutknecht, He Arc, 2018.



De plus, une campagne d'observation menée sur des objets archéologiques provenant du musée et parc archéologique Laténium (Hauterive-Neuchâtel) et traités cinq ans auparavant a été réalisée. Aucun des objets du corpus ne présentait de reprise de corrosion.

Figure 9 Objet archéologique 14/16481-03. Détails de la reprise de corrosion constatée indiquée par une flèche. © N. Gutknecht, He Arc, 2018.

Conclusion

Au travers de cette étude, nous avons acquis une meilleure compréhension du processus de conversion des composés cuivreux réactifs pendant le traitement fongique. La protection est vraisemblablement obtenue par la conversion des composés en une forme plus stable d'oxalates de cuivre. Les coupons générés pour cette étude pourraient être améliorés par l'utilisation de méthodes de corrosion plus longues mais contrôlées afin d'avoir des coupons représentatifs et de permettre ainsi une appréciation aussi bien visuelle qu'au moyen d'outils analytiques des effets du traitement.

En formant un film isolant, les biominéraux empêchent la réactivation des chlorures de cuivre éventuellement restants dans l'objet. Dans le cas des objets étamés, le traitement permet de compléter les zones lacunaires du film d'étain malgré une matification de surface qu'il conviendrait de discuter avant intervention selon les objectifs du traitement. Finalement, la stabilisation des objets après traitement a été validée par des essais en atmosphère agressive et s'est relevée effective pour 9 des 10 objets traités.

Remerciements

Un remerciement particulier au Dr. Luc Robbiola pour le mentorat apporté pendant la réalisation de ce travail de master et son aide à la réalisation des éprouvettes. Les auteurs remercient le parc et musée archéologique Laténium (Hauterive-Neuchâtel), les sites et musée romains d'Avenches et le service archéologique du canton d'Argovie pour leur support, par le prêt des objets archéologiques traités dans cette étude. Merci à Nadim Scherrer, Haute École spécialisée de Berne, pour les analyses SEM-EDS et Raman.

Références bibliographiques

Albini M. et al. (2017), « Evaluation of the performances of a biological treatment on tin-enriched bronze », *Environmental Science and Pollution Research*, N° 24 (3), p. 2150-2159.

Albini M. et al. (2018), « Comparison of a bio-based corrosion inhibitor versus benzotriazole on corroded copper surfaces », *Corrosion science*, N° 143, p. 89-92.

Albini M. et al. (2016), « Innovative biological approaches for metal conservation », *Materials and Corrosion*, N° 67, p. 200-206.

Domon-Beuret et al. (2015), « Biopatines : des champignons au service des alliages cuivreux », dans *Restaurer l'ordinaire, exposer l'extraordinaire : du site au musée*, actes des XXVIII^{es} Journées des restaurateurs en archéologie, (Arles, 16 et 17 octobre 2014), Paris, ARAAFU, (coll. CRBC- Cahiers techniques, 22), p. 45-48.

Gutknecht N. (2018), *La corrosion active sur les alliages cuivreux archéologiques - Evaluation de la stabilisation par biopassivation fongique*, mémoire pour l'obtention du Master of Arts HES-SO en Conservation-restauration, orientation objets archéologiques et ethnographiques, Haute École Arc, Conservation-restauration, non publié.

Gutknecht N., Joseph, E. (2019), « Stabilisation of archaeological copper alloy objects from chlorides-induced active corrosion with *Beauveria bassiana* », dans ICOM-CC (éd.), *Metals working group interim meeting, Neuchâtel, 2-6 September 2018*, International Council of museums, (submitted).

International Organization for standardization, (2003), *Norme 16701 - Corrosion of metals and alloys-corrosion in artificial atmosphere*, Genève, 2003.

Joseph E. et al. (2011), « Development of an analytical procedure for evaluation of the protective behaviour of innovative fungal patinas on archaeological and artistic metal artefacts ». *Analytical and Bioanalytical Chemistry* N° 399, p. 2899-2907.

Joseph E. et al. (2013), « Assessment of a biological approach for the protection of copper alloys artefacts », dans Hyslop E., Gonzalez V., Troalen L., Wilson L. (éd) *ICOM-CC Metals working group interim meeting, Edinburgh, 16-20 September 2013*, Edinburgh, International Council of Museums, p. 203-208.

Leyssens K. (2006), « Evaluation of corrosion potential measurements as a means to monitor the storage and stabilization processes of archaeological copper-based artifacts », *Analytical Chemistry*, N° 78 (8), p. 2794-2801.

Les auteurs

Naïma Gutknecht Masterante, Haute École Arc Conservation-restauration, HES-SO Haute École spécialisée de Suisse occidentale, Espace de L'Europe 11, 2000 Neuchâtel, Suisse, naima.gutknecht@gmail.com

Edith Joseph Professeure chargée d'enseignement HES, Haute École Arc Conservation-restauration et professeure assistante, Laboratoire des technologies pour les matériaux du patrimoine (LATHEMA), institut de Chimie, université de Neuchâtel, Avenue de Bellevaux 51, 2000 Neuchâtel, Suisse, edith.joseph@unine.ch

ENTRE NUMISMATIQUE ET RESTAURATION, UNE COLLABORATION AU TRAVERS DU PRISME DE LA FORMATION *COINS CONSERVATION PROJECTS IN EGYPT*

CHARLOTTE REROLLE, THOMAS FAUCHER

Résumé Fruit d'une collaboration entre un numismate et une restauratrice, un projet de formations a vu le jour en Egypte en 2016 et 2018. Son objectif est de former des restaurateurs égyptiens à la conservation-restauration des monnaies ainsi qu'à l'enregistrement de données numismatiques.

Mots-clés : monnaies, formation, Égypte.

Organisation des formations

Organisées par Thomas Faucher et Charlotte Rerolle, *Coins conservation projects in Egypt* sont deux formations dédiées à la restauration des monnaies découvertes en Égypte. La première formation a eu lieu pendant 6 semaines aux temples de Karnak en 2016 et la seconde s'est tenue pendant 3 mois au musée National du Caire en 2018. Ces projets ont été financés essentiellement par une bourse de l'ARCE (*American research center in Egypt* sur des fonds de l'*US Aid*) mais ont reçu également le soutien du CNRS (Centre national de la recherche scientifique), de l'IFAO (Institut français d'archéologie orientale), du CFEETK (Centre franco-égyptien d'étude des temples de Karnak) et du ministère égyptien des Antiquités (**fig. 1**)

Les objectifs de ces formations étaient multiples. Tout d'abord il s'agissait de former et de rendre autonomes des restaurateurs égyptiens dans le domaine très spécifique qu'est la conservation et la restauration de monnaies, mais aussi de conserver à moyen et long terme du matériel à haut potentiel informatif. Ainsi les numismates et les archéologues peuvent accéder à une information spécifique et extrêmement importante pour les propositions de datation archéologiques. Par ailleurs, du personnel de musée, mais également des archéologues, ont été formés à l'enregistrement des données numismatiques, les informations obtenues suite à la restauration des monnaies pouvant être versées à une base de données collaborative internationale.

Projet	Participants	Durée	Lieu	Encadrants
2016	12 restaurateurs : 3 Musée national 2 NMEC 2 GEM 1 Dakhla museum 2 CFEETK 2 ARCE	6 semaines	Karnak conservation lab	1 numismate : Thomas Faucher 3 restauratrices françaises : Charlotte Rérolle, Anne-Marie Geffroy, Laura Caru 1 restauratrice égyptienne : Marwa Wahba
2018	5 restaurateurs du Musée national	3 mois	Salle 55, Musée national égyptien, Le Caire	2 numismates : Thomas Faucher, Guillaume Blanchet 5 restauratrices françaises : Charlotte Rérolle, Anne-Marie Geffroy, Laura Caru, Marie-Amande Coignard, Fanny Dallancourt

Figure 1 Présentation de l'organisation Coins Conservation Project.

Les monnaies

Les différentes autorités à la tête de l'Égypte, à partir du IV^e siècle avant notre ère et jusqu'à la fin de l'Antiquité, ont frappé des centaines de millions de monnaies. Même si la plupart de ces monnaies ont été définitivement perdues ou refondues, les fouilles archéologiques menées dans le pays depuis la seconde moitié du XIX^e siècle en ont mis au jour d'énormes quantités¹. La directrice du musée égyptien des Antiquités, Sabah Abdel Razek, a inventorié, il y a quelques années, plusieurs caisses de monnaies entreposées au sous-sol. Les monnaies, en alliage cuivreux et recouvertes d'une épaisse couche de corrosion, ne possédaient pas de numéro d'inventaire ni d'informations liées à leur provenance. Néanmoins, les recherches de T. Faucher dans les différents inventaires du musée (journal d'entrées et *temporary register*) ont permis de déterminer que le remplissage de ces caisses avait été mené vraisemblablement à la fin du XIX^e siècle et dans les premières décennies du XX^e siècle : elles seraient le résultat de nombreuses opérations archéologiques conduites dans toute l'Égypte.

Après leur arrivée au musée égyptien des Antiquités, les monnaies provenant de fouilles étaient d'abord envoyées au Musée gréco-romain d'Alexandrie où un cabinet des médailles avait été créé dès 1895 (Dutilh, 1900; Gady, 2014), dont le conservateur choisissait les monnaies qui l'intéressaient avant que le reste soit renvoyé au Musée égyptien. Les monnaies non précieuses (or et argent exclus) étaient ensuite placées dans des caisses dont l'une gardait la mention de « scrap bronze » (**fig. 2**). Lors de la formation au Caire, une partie du travail a été de reconditionner le contenu de ces énormes caisses de bois en plus petites boîtes

¹ La publication des fouilles de Michigan (1924-1935) fait connaître 26736 monnaies (Haatvedt *et al.*, 1964).

plastiques, comprenant entre 10 et 20 kg de monnaies, puis de les stocker dans des armoires métalliques. Au départ, réparties dans 7 grandes caisses, ce sont plus de 1300 kg de monnaies qui ont été déplacés et rangés dans un espace plus adapté à leur bonne conservation.



Figure 2 Reconditionnement des 1300 g de monnaies. © C. Rerolle.

Un échantillon aléatoire d'environ 10 % du total a été prélevé dans chaque grande caisse pour estimer la quantité de monnaies. Chaque échantillon a été comptabilisé en séparant chaque grand type de monnayage. Si l'on extrapole les chiffres à l'ensemble du contenu, on obtient un grand total de 249 010 monnaies réparties en six ensembles :

- 40 550 monnaies de bronze ptolémaïques;
- 27 356 monnaies de billon romaines;
- 2 705 monnaies de bronze romaines;
- 145 904 monnaies de bronze romaines tardives;
- 907 monnaies byzantines;
- 14 196 monnaies islamiques.

Évidemment, ces chiffres sont gigantesques; ils sont à comparer aux plus grandes collections de monnaies égyptiennes des musées des États-Unis et d'Europe : près de 17 000 pour l'*American numismatic society* à New York et environ autant pour le département des Monnaies, Médailles et Antiques de la Bibliothèque nationale de France. Au Musée gréco-romain d'Alexandrie, la collection totalise, quant à elle, 167 000 monnaies. On comprend dès lors l'importance de restaurer ces monnaies, qui représentent une formidable mine d'informations et recèlent très vraisemblablement un nombre important de monnaies inédites.

L'une des caisses abritait une note portant la mention « Kôm Aushim, 1922 » qui semble renvoyer à un ensemble archéologiquement cohérent. Ce lot sélectionné pour la formation représente environ 40 kg de métal et près de 3500 monnaies. Ce groupe est composé de monnaies isolées, majoritairement de monnaies ptolémaïques, ainsi que de deux blocs

de pièces encore agglomérées. Le premier bloc est un groupe de monnaies ptolémaïques du deuxième siècle, d'un seul module, alors que le deuxième bloc est, lui, composé de monnaies romaines en billon (alliage cuivreux contenant moins de 25 % d'argent) datées du premier et deuxième siècle de notre ère.

Le programme des formations

Les formations ont commencé par un rappel théorique de certaines notions de conservation et de restauration : le potentiel informatif des monnaies, monnaies et corrosion, les nettoyages mécaniques et chimiques, les traitements de masse... (fig.3). Les espaces de travail, notamment la salle 55 mise à disposition par le Musée national et dédiée à la restauration des monnaies, ont été optimisés en fonction des tâches identifiées afin de faciliter l'organisation systématique du travail. Ainsi, plusieurs aires de travail ont été dessinées selon les besoins de l'équipe : une zone dédiée au nettoyage mécanique (scalpel, fibre de verre, micro-moteur, stylo à ultrasons) avec des loupes binoculaires, afin de contrôler le travail, et une zone de travail pour les traitements chimiques, avec emplacement spécifique pour les préparations de solutions chimiques, ainsi qu'une table pour la photographie et l'enregistrement des données. Il a été rappelé à chacun les règles élémentaires de sécurité et des travaux pratiques d'élaboration de solutions chimiques ont été effectués.

Conservation-restauration	Matériaux	Numismatique	Documentation	Autre
Qu'est-ce que la conservation-restauration?	Qu'est-ce que le matériau cuivre et ses alliages?	Les monnaies et leur potentiel informatif	Le constat d'état	Estampage et moulage de monnaies
Le traitement de masse/ le traitement individuel, une spécificité des monnaies	La dégradation des alliages cuivreux	Histoire des monnaies	Fiches et documentation	Un exemple de déménagement de collection : le cabinet des Monnaies, Médailles et Antiques de la BNF
Le nettoyage : mécanique, chimique, électrolytique	L'argent et ses mécanismes de corrosion	Histoire du monnayage égyptien	photographie de monnaies	
Consolidation Stabilisation Protection	Les autres métaux employés pour les monnaies	Archéologie expérimentale et frappe de monnaies aux aigles	Remplissage de la base de données	
Conservation préventive				

Figure 3 Programme des cours théoriques.

Les protocoles de traitement

La restauration des monnaies a été proposée de deux façons différentes et complémentaires. La première approche consistait en du nettoyage mécanique le plus poussé possible, dit nettoyage « pour exposition », sur un groupe de 800 monnaies romaines, afin que les stagiaires apprennent à maîtriser l'ensemble des outils et des techniques mis à disposition, mais aussi pour qu'ils mettent en place des automatismes pour un nettoyage d'une grande précision. Parallèlement, le protocole de traitement de masse a été mis en place par le second groupe sur l'ensemble de monnaies de Kôm Aushim. Les stagiaires ont appris à trier ces monnaies en fonction des époques, en particulier grâce à leur taille et leur forme (**fig. 4**). Ce travail d'identification préalable s'est appuyé sur des présentations théoriques sur l'histoire du monnayage égyptien. Ainsi il est possible de séparer les monnaies ptolémaïques les plus tardives, en alliage cuivreux ternaire (cuivre, étain, plomb), des monnaies romaines en billon (cuivre, argent) et des monnaies en alliage cuivreux binaires. En effet, les compositions variables de ces alliages nous ont obligés à mettre en place un protocole spécifique, d'une part pour les monnaies ptolémaïques tardives comprenant du plomb (la majeure partie du lot) et les monnaies romaines en alliage cuivreux et, d'autre part, pour les billons romains.



Figure 4 Identification préalable des monnaies par groupes. © C. Rerolle.

Au vu de l'immensité de la collection, il n'y a pas d'autre possibilité que d'opter pour un traitement de masse chimique complété sporadiquement par une action mécanique, car sinon le temps passé sur une monnaie se révèle trop important (**fig. 5**). De plus, contrairement aux monnaies des trésors qui peuvent être découverts dans d'autres pays, la corrosion est particulièrement épaisse en Égypte, souvent de plusieurs millimètres (le volume de la monnaie doublant quasiment). Composée de carbonates de cuivre (produits de corrosion verts) en surface, cette corrosion présente un faciès assez classique. En dessous se trouvent des oxydes de cuivre (produits de corrosion rouge violacé) et, si la surface d'origine est conservée, elle se situe quasiment au niveau du noyau métallique, interface avec film noir extrêmement fin. De nombreuses poches de chlorures de cuivre, qui sont responsables de la corrosion active, sont emprisonnées dans les différentes couches de corrosion.

Pour l'élaboration des protocoles de test, les solutions chimiques testées ont été sélectionnées en fonction de deux facteurs : d'une part, des solutions complexantes sur lesquelles de nombreuses recherches avaient été menées et sur lesquelles la conservation-restauration avait un certain recul et, d'autre part, des produits bon marché, que l'on peut facilement se procurer en Égypte.



Figure 5 Travail mécanique contrôlé sous loupe binoculaire. © C. Rerolle.

Une centaine de monnaies ptolémaïques (alliage cuivre-étain-plomb) ont été sélectionnées, avec des états de conservation variables. Deux groupes de 50 monnaies ont été séparés afin de tester l'action d'un traitement préliminaire sur les sédiments et les concrétions : acide citrique et hexamétaphosphate de sodium. Ensuite ces deux groupes de 50 monnaies ont été divisés en 2×5 groupes de 10 monnaies afin de tester différentes solutions complexantes : EDTA Na₂; EDTA Na₄; mix EDTA Na₂/Na₄, sels de Rochelle et glycérol alcalin. Suite à différents tests préliminaires, les solutions ont été testées à une concentration de 10 %, sauf pour le glycérol alcalin.

Des tests similaires ont été mis en place afin d'établir un protocole de traitement pour les billons (alliage cuivre-argent). 110 monnaies ont été sélectionnées et deux solutions préliminaires ont été testées : acide formique et acide citrique. Ces monnaies ont ensuite été réparties en groupes de 10 afin de tester l'acide formique; l'EDTA Na₂; l'EDTA Na₄; le mix EDTA Na₂/Na₄ et les sels de Rochelle (**fig. 6**).

Acide citrique 10 %	Action visible à l'oeil, efficacité accrue si associé au bain à ultrasons.
Hexamétaphosphate de sodium 10 %	Aucune action visible.
Acide formique 5 %	Efficacité maîtrisée, surtout en alternance avec le mélange EDTA Na₂/Na₄.
Glycérol alcalin	Action rapide et peu maîtrisée, mais attaque préférentielle des nodules de plomb dans les alliages ternaires + difficulté de rinçage.
EDTA Na ₂ 10 %	Très efficace au début, peu de maîtrise, surface poreuse.
EDTA Na ₄ 10 %	Efficacité moyenne, peu de résultats sur les couches de carbonates, très efficace sur les couches d'oxydes mais maîtrise délicate.
EDTA Na₂/Na₄ 10 %	Diminution visible des couches de carbonates de cuivre puis, après un plateau, attaque des couches d'oxydes. Bonne maîtrise de la complexation.
Sels de Rochelle 10 %	Action lente et peu efficace. Restes de sédiments.

Figure 6 Bilan des tests après 5 bains (en gras les solutions sélectionnées).

L'épaisseur des produits de corrosion nous a obligés à revoir le nombre de bains envisagés. Les protocoles de traitement de masse ont été évalués au fur et à mesure par les stagiaires eux-mêmes (**fig. 7**).

Une fois les protocoles établis, un travail de groupe a été mené sur un amas de plus de 200 billons romains pris dans une gangue de corrosion. Contrairement à ce qui avait été fait précédemment, où chacun travaillait sur le lot de monnaies qu'il s'était vu attribuer, il a été décidé que chacun travaillerait sur toutes les étapes à tour de rôle et simultanément. Ce travail de groupe a permis de vraiment renforcer la cohésion du groupe et chacun a pu s'appuyer sur ses points forts pour tirer le groupe vers le haut (**fig. 8**).



Figure 7 Évaluation de la solution complexante lors de tests préalables. © C. Rerolle.

Monnaies ptolémaïques	Billons romains
Eau/surfactant 12h + 3 min bac à ultrasons + rinçage 1 h eau de ville	
Acide citrique 10 % + rinçage 1 h eau de ville	Acide formique 5 % + rinçage 1 h eau de ville
EDTA Na ₂ /Na ₄ 10 % bain 1 heure, renouvelable autant que nécessaire. Vérification de l'état des monnaies toutes les heures	Alternance bain 1 h EDTA Na ₂ /Na ₄ 10 % et bain 1 h acide formique 5 %, renouvelable autant que nécessaire. Vérification de l'état des monnaies toutes les heures
Protection des surfaces d'origine à l'aide d'une couche d'épargne de résine acrylique (Paraloïd B44 à 10 % dans l'acétone)	
Abrasion mécanique au micro-tour des amas importants	
Avant les finitions sous loupe binoculaire, 3 min bac à ultrasons + brossage	

Figure 8 Protocoles de nettoyage sélectionnés.

Les traitements de masse s'effectuant essentiellement par voie chimique, un protocole spécifique de rinçage a été mis en place : rinçage de 30 minutes à l'eau de ville entre 2 bains chimiques de différentes natures; si le processus de nettoyage est incomplet en fin de journée : 1 h de rinçage avant séchage et stockage pour la nuit; rinçage final : 1 h de rinçage à l'eau de ville + 2 × 1 h de rinçage à l'eau déminéralisée + une nuit dans un bain d'eau déminéralisée, puis vérification du pH.

En complément de ces actions de nettoyage, des opérations plus « classiques » ont été également effectuées : consolidation, séchage, collage, stabilisation, protection, emballage, photo, enregistrement...

Les résultats

Le 25 mars 2018, Thomas Faucher a organisé un colloque international intitulé *The History of egyptian coinage and beyond. conservation, collection management and numismatic studies*. Co-organisé avec Naglaa Ezzat, de l'université Aïn Shams, plus de 120 personnes sont venues assister aux 18 communications présentées par un panel de chercheurs égyptiens et internationaux. Ce colloque a été l'occasion pour toute l'équipe, encadrants et étudiants, de présenter les premiers résultats obtenus sur la restauration des monnaies du musée égyptien des Antiquités sous le titre : *Egyptian Museum of Cairo coin conservation fieldschool*.

Différents articles et billets présentant ce projet ont été publiés dans le Bulletin of American Research Center in Egypt (2016 et 2018), Les échos du Craham, Egyptian Museum of Cairo coins conservation project : un projet franco-égyptien de formation à la restauration de monnaies antiques (<https://craham.hypotheses.org/1567>). Un article est également paru dans Archéologia n°568 de septembre 2018, p. 14.

Si le nombre de monnaies traitées lors de ces formations était en dessous de nos objectifs, toute la réussite de ce projet se trouve dans l'énorme progression des stagiaires, même des plus faibles, entre le début et la fin du stage, au niveau de la compréhension de la corrosion, des attentes des numismates pour l'obtention de données scientifiques et, surtout, dans leur autonomisation pour la mise en place de traitement de masse chimique, travail peu courant en Égypte. Ces restaurateurs travaillent aujourd'hui de façon complètement autonome, savent organiser leur travail pour gagner en efficacité. Ces protocoles ont été élaborés pour les monnaies ptolémaïques et les billons romains, mais aujourd'hui les stagiaires sont à même de mettre en place leurs propres protocoles pour les monnaies romaines tardives, byzantines et islamiques afin de compléter le travail débuté sur l'ensemble des monnaies de Kôm Aushim.

Cependant, on notera qu'il est difficile pour ces restaurateurs, formés spécifiquement à la restauration de monnaies, de se concentrer sur cette tâche et de prolonger le projet, les demandes du musée étant multiples et variables en fonction des projets en cours.

Un nouveau projet de formation est en préparation à Alexandrie pour 2020, afin de travailler avec des restaurateurs qui côtoient plus régulièrement des collections numismatiques.

Références bibliographiques

Dutilh E.D.J. (1900), « Historique des collections numismatiques du Musée gréco-romain d'Alexandrie », *Journal international d'archéologie numismatique*, N° 3, p. 1-36.

Gady E. (2014), « Ernest Dutilh, premier conservateur de la collection numismatique du Musée gréco-romain d'Alexandrie (1896-1905) », dans J.-Y. Empereur (éd.), *Alexandrina* 4, Le Caire, p. 367-384.

Haatvedt R. A., Peterson, E. E., Husselman, E. M. (1964), *Coins from Karanis, the University of Michigan excavations, 1924-1935*, Ann Arbor.

Les auteurs

Charlotte Rerolle Conservatrice-restauratrice, AntePostQuem Conservation, charlotte_rerolle@yahoo.fr

Thomas Faucher Numismate, IRAMAT-CEB, CNRS / université d'Orléans, thomas.faucher@cnrs-orleans.fr

UNE RESTAURATION QUI NE MANQUE PAS DE SELS : SUIVI DES DÉSORDRES DU MONUMENT MÉGALITHIQUE DE GAVRINIS (LARMOR-BADEN, MORBIHAN), MÉTHODOLOGIE ET PERSPECTIVES

ÉMILIE HEDDEBAUX, OLIVIER AGOQUÉ, VÉRONIQUE VERGÈS-BELMIN

Résumé Le cairn de l'île de Gavrinis est un monument majeur du patrimoine néolithique européen. Ce monument, exploré anciennement, a été restauré au début des années 1980. Aujourd'hui, 30 ans plus tard, se pose la question de l'impact de cette intervention sur cette tombe préhistorique. Dès 2013, le LRMH a été sollicité pour dresser un constat d'état des désordres observés dans ce cairn. Ce diagnostic a permis de mettre en avant la présence de différents sels liés aux matériaux mis en œuvre lors de la restauration et des différents épisodes de moulage des orthostates. Cela a permis par ailleurs d'observer une activité microbiologique, des passages d'eau et des phénomènes d'humectation liés au nouvel agencement de la structure du monument.

L'installation d'une station climatique a donc été conseillée par le LRMH au département du Morbihan pour suivre sur 14 mois la climatologie de la cavité corrélée à une observation mensuelle de l'évolution des pathologies et des passages d'eau. Cette étude, en cours depuis septembre 2016, permet une meilleure compréhension du cheminement des agents pathogènes, ainsi que de l'impact des visiteurs, pour envisager par la suite des opérations de conservation et de restauration.

Présentation du monument et contexte

Le cairn de Gavrinis, classé Monument historique dès 1901, est situé sur une île du golfe du Morbihan, sur la commune de Larmor-Baden (56). Il est propriété du Département du Morbihan, qui en confie la gestion et l'exploitation à la Compagnie des ports du Morbihan par délégation de service public. Il s'agit d'un grand monument mégalithique néolithique de près de 8 m de hauteur conservée et d'une forme actuelle subcirculaire de 50 à 60 m de diamètre (**fig. 1**). La masse de pierre sèche qui le constitue englobe une unique tombe à couloir droit d'une longueur de près de 16 m, constitué de 29 dalles dressées (orthostates) qui supportent 10 dalles formant le plafond. Le sol est également dallé, constitué de 13 éléments.

La particularité de Gavrinis, par rapport au riche patrimoine mégalithique du sud du Morbihan, est que quasiment l'ensemble des parois, ainsi que certaines dalles du sol et du plafond, sont décorées d'une gravure foisonnante qui couvre largement l'espace disponible, combinant motifs géométriques (particulièrement des formes d'arcs-de-cercle concentriques) et représentations d'objets archéologiques (haches, arcs, flèches, embarcations...) (**fig. 2**). Si l'art pariétal préhistorique est bien représenté dans le sud de la Bretagne, la qualité et la densité du décor de Gavrinis le rendent unique au monde.



Figure 1 Vue aérienne du cairn de Gavrinis. © Département du Morbihan.



Figure 2 Vue de l'intérieur du cairn, couloir et chambre gravées.
© Département du Morbihan.

La dalle de couverture de la chambre funéraire constitue un autre élément extraordinaire : ses gravures sont sur la face supérieure, partie non visible depuis l'intérieur du tombeau. Leur style en quasi bas-relief et les motifs animaux les distinguent nettement des gravures de la tombe à couloir. Cette grande dalle est fragmentée et une paire de cornes laisse deviner la représentation d'un animal qui se poursuivait sur la partie manquante. Il a été démontré que la deuxième partie, où se trouve la suite de l'animal, forme la dalle de couverture du

dolmen de la Table des Marchand à Locmariaquer, situé à plusieurs kilomètres de Gavrinis (**fig. 3**). Les deux fragments formaient en partie une grande stèle décorée, appartenant probablement à l'alignement de pierres dressées du Grand Menhir de Locmariaquer. Le motif n'étant plus signifiant, la dalle de Gavrinis a été réutilisée pour ses dimensions, sans chercher à rendre visibles ses gravures.



Figure 3 Stèle de plafond de la chambre funéraire, gravée sur sa face externe.
© E. Heddebaux.

Si ce phénomène témoigne d'un temps long de l'évolution du mégalithisme et des représentations pariétales, le cairn de Gavrinis procède d'une période d'utilisation assez courte, depuis sa construction vers 4200 et 4000 avant J.-C. jusqu'à sa condamnation vers 3700 avant J.-C. Le décor intérieur est extrêmement homogène, semblant répondre à un projet architectural structuré et cohérent.

Le cairn a toujours été bien visible sur l'île, les premières explorations archéologiques se sont faites par le haut, par un cratère que des moines au Moyen Âge avaient créé en se servant du cairn comme d'une carrière. Ce n'est qu'au cours du XIX^e siècle que le couloir, obstrué jusque-là, a été déblayé. Les dernières campagnes de fouilles ont eu lieu au cours des années 1980 sous la direction de Charles-Tanguy Le Roux, alors directeur des Antiquités préhistoriques de Bretagne. À l'issue de ces fouilles, le monument a été restauré, sous la direction de l'architecte en chef des Monuments historiques, M. Benjamin Mouton, restituant une façade à gradins à parement de pierres sèches et créant un arc de décharge maçonné sur la dalle de couverture, permettant de répartir les charges et de conserver un accès aux gravures de la face supérieure.

Un nouveau programme d'étude et de numérisation, coordonné par Serge Cassen, directeur de recherches au CNRS dans les années 2010 (Cassen *et al.*, 2013), a permis de mettre en lumière un certain nombre de désordres préoccupants pour la préservation du monument et, particulièrement, de son décor gravé si exceptionnel. Ces désordres peuvent procéder de l'environnement maritime et d'un climat parfois agressif, de la fréquentation humaine (de

l'ordre de 15 000 visiteurs par an) provoquant des frottements difficilement évitables dans un couloir étroit, mais aussi, voire surtout, de la restauration qui a induit de nouvelles circulations d'eau et entraîné l'apport de matériaux inadéquats.

Le propriétaire, en concertation avec les services patrimoniaux de l'État et à la suite d'une première étude du LRMH, a donc décidé d'élaborer, sous l'égide de ce dernier, un protocole à même de pouvoir comprendre et mesurer objectivement les altérations et leurs causes. Le but était ensuite d'établir des préconisations pour y remédier et stopper la dégradation du monument.

Nécessité d'un constat d'état

Suite à l'étude par Serge Cassen des signes gravés des parois de Gavrinis, le LRMH a été sollicité pour dresser un constat d'état du monument et identifier les différents facteurs d'altération de la cavité. Une équipe du LRMH formée par Faisl Bousta du pôle Microbiologie, Véronique Vergès-Belmin du pôle Pierre, Stéphanie Touron du pôle Grottes ornées, et Dominique Bouchardon, photographe, s'est rendue sur l'île à l'automne 2013 pour réaliser des relevés de la répartition des désordres et prélèvements pour analyse. L'objectif de cette intervention n'était pas tant de réaliser une cartographie exhaustive des altérations, mais de déterminer une emprise des désordres, afin de mettre en relation cette répartition et l'agencement de la structure architecturale actuelle, à savoir le cairn et les maçonneries réalisées lors de la dernière restauration, qui concernent principalement l'espace sus-jacent à la chambre funéraire et désigné comme « la chapelle ». Cet espace a été aménagé lors de la restauration du site entre 1979 et 1984, dans le but de laisser un accès, tout autant que de protéger les gravures que la dalle de plafond de la chambre funéraire comporte sur sa face externe. Cet espace est formé par un accès via une trappe sur la partie sommitale du cairn et par une voûte en arc brisé, maçonnerie, qui lui donne ce nom communément adopté de « chapelle ».

De la chapelle à la cavité - diagnostic

Les observations se sont portées sur tous les espaces internes à la structure du cairn, c'est-à-dire le couloir et la chambre funéraire, les espaces archéologiques et la chapelle, espace aménagé récemment intégré aux vestiges archéologiques. Les supports de cartographie d'altération sont des photographies transmises par S. Cassen.

Les principales altérations que l'équipe a observées sont des zones humides, des coulures brunes, des voiles blancs, des efflorescences, des encroûtements et des desquamations (**fig. 4**).

Dans la chapelle, les altérations observées sont liées à des passages d'eau au travers de la structure : ruissellements, zones humides, encroûtements, stalactites sur les parois, mais aussi et surtout désagrégation granulaire, efflorescences salines, et les analyses ont révélé la présence de thénardite (sulfate de sodium) et de gypse (sulfate de calcium bihydraté) sur la stèle gravée au sol.

Dans la chambre et le couloir, des zones humides sont observées, sur toutes les pierres de la chambre et de manière plus éparse dans le couloir. Plusieurs types d'altération chromatiques sont visibles, tout d'abord sous forme de voiles blancs, principalement dans le fond de la structure : les analyses au LRMH ont ainsi mis en évidence trois souches de moisissures. Des algues vertes se développent sur les premières pierres à l'entrée du monument, dues à

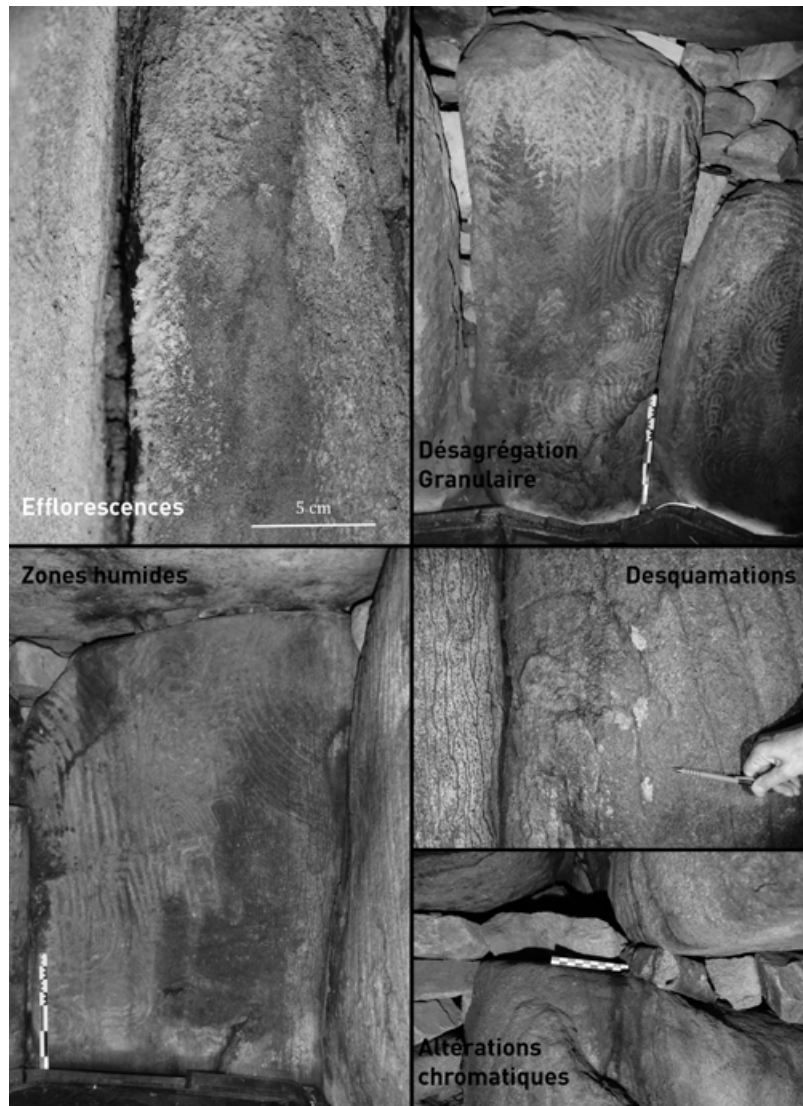


Figure 4 Principales altérations observées lors du diagnostic de 2013 par le LRMH. © E. Heddebaux.

l'humidité et l'exposition lumineuse. Des coulures brunes sont visibles dans la chambre et sur des orthostates du couloir, situés en majorité au fond de celui-ci (**fig. 5**).

Ces coulures sont liées au manque d'étanchéité de la chapelle, qui se trouve au-dessus de la chambre. Leur couleur brune peut venir d'une charge en matière organique par percolation à travers un matériau terreux entre les pierres du plafond, ou encore peut-être d'une percolation d'eau à travers le ciment Portland (pH alcalin) de la maçonnerie, mobilisant des oxydes de fer.

Des phénomènes d'efflorescences, désagrégation granulaire et desquamation ont aussi été relevés. Les efflorescences apparaissent à plusieurs endroits de la chambre et du couloir, les desquamations principalement au fond de la cavité, et la désagrégation granulaire surtout dans la chambre et le côté droit du couloir, en partie supérieure des orthostates (**fig. 6**). Les analyses du LRMH ont mis en évidence la présence de gypse (sulfate de calcium bihydraté), de halite (chlorure de sodium) et de thénardite (sulfate de sodium).

En conclusion de ce constat, on observe qu'il y a forte présence d'eau dans le monument, qui circule soit par percolation, soit par condensation. Les moisissures sont liées à des dépôts organiques, aux mains qui touchent les pierres, aux suies des torches...

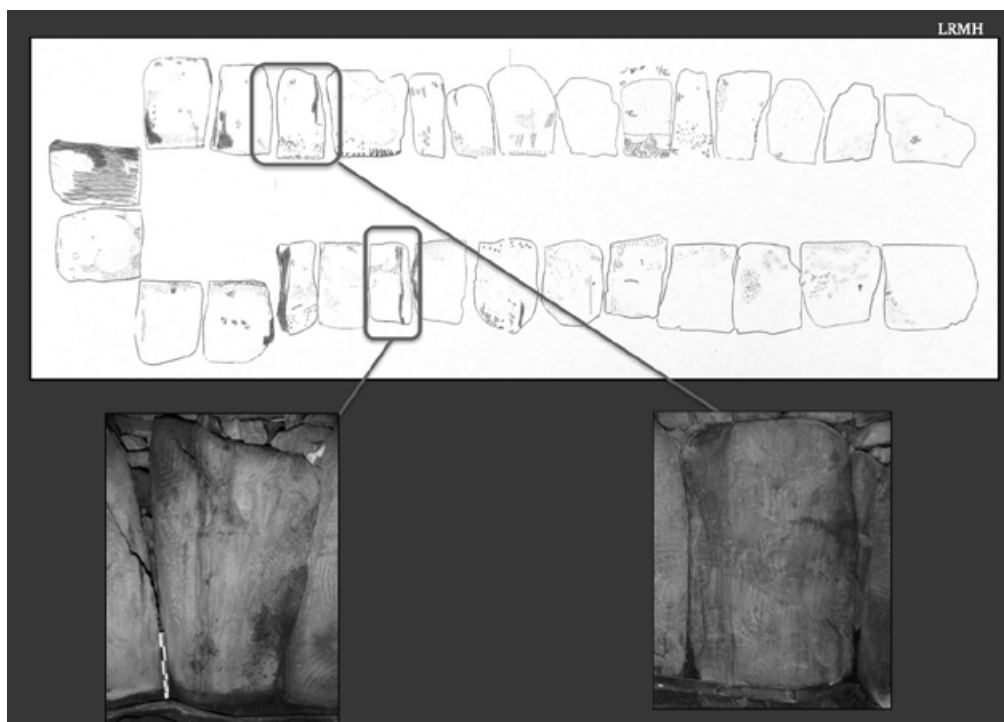


Figure 5 Localisation de coulures brunes dans le monument. © LRMH.

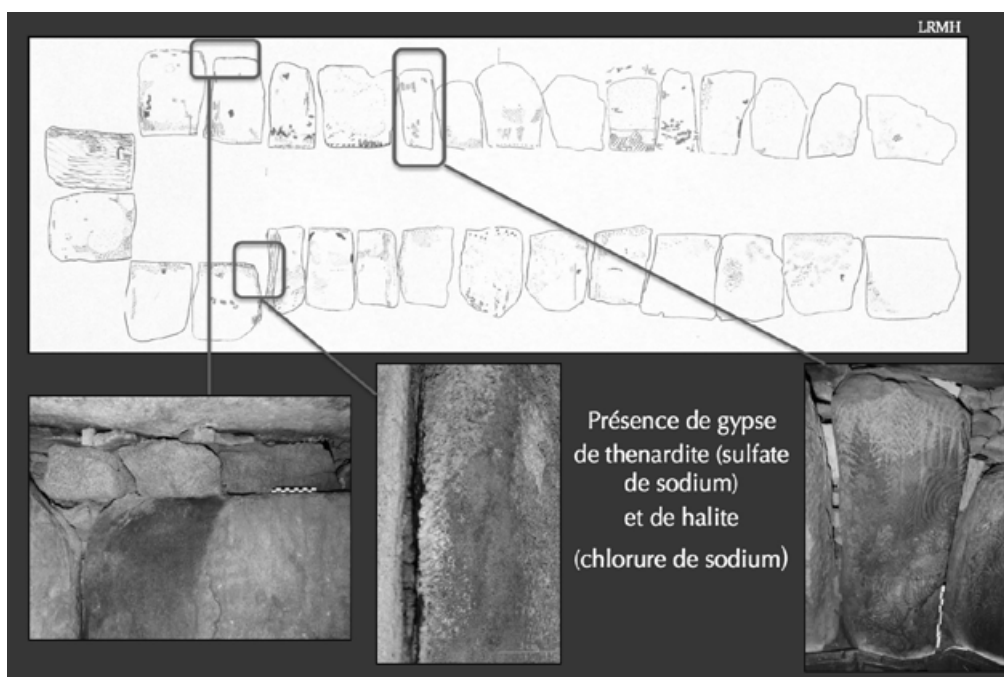


Figure 6 Localisation des phénomènes de désagrégation granulaire et efflorescences.
© LRMH.

Plusieurs types de sels ont été identifiés. Une contamination dominante en gypse proviendrait des différentes campagnes de moulage et de la pollution atmosphérique de fond. La présence de thénardite s'explique par la présence de mortier au ciment Portland dans la restauration des parois de la chapelle et la présence de halite, par l'utilisation de sable de mer dans ces mêmes mortiers.

Les premières préconisations du LRMH sont de récupérer les eaux du plafond de la chapelle, mais aussi d'effectuer une recherche documentaire, puisqu'aucun rapport de restauration

n'a pu être consulté, afin de comprendre la mise en œuvre des restaurations du monument. En dernier lieu, le LRMH préconise l'installation d'une station climatique pour une étude de 14 mois dans le but de mieux appréhender le fonctionnement du monument dans son environnement.

Station climatique – observations corrélées

La recommandation d'installation est formulée par le LRMH à l'automne 2014, le projet est élaboré par le propriétaire, le département du Morbihan, via son service archéologique (SDAM), en lien avec les services de l'État par l'unité départementale de l'Architecture et du Patrimoine. L'installation est réalisée en septembre 2016 par l'entreprise PTS Mesures et le LRMH. Le suivi est assuré par une restauratrice du patrimoine et l'analyse et les interprétations par le LRMH.

L'objectif de l'installation d'une station climatique est de connaître la dynamique climatique du monument en comparaison avec son environnement externe, pour répondre à plusieurs questions :

- quel impact les visites ont sur cette dynamique;
- quelle est la cinétique des altérations, quelles modifications thermiques hydriques et hygriques hors des visites;
- peut-on réduire la vitesse d'altération des pierres gravées?

Au sommet du cairn, une station météorologique est installée, équipée d'un pluviomètre, d'un anémomètre, d'un thermomètre, d'un baromètre et d'un hygromètre.

À l'intérieur, ont été placés des capteurs de température et humidité de l'air, couplés à un capteur de température de surface, à deux endroits dans le cairn, dans le couloir et la chambre (**fig. 7**).

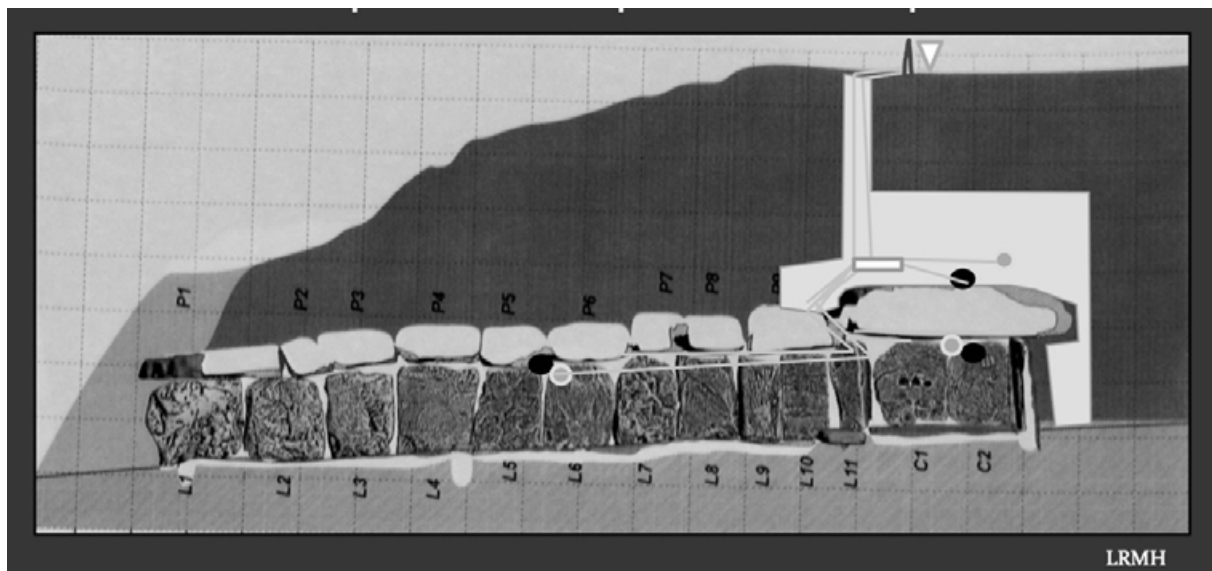


Figure 7 Installation de la station climatique, emplacement des sondes. © S. Cassen, LRMH.

Dans la chapelle, même installation que dans la partie inférieure, au-dessus et sur la stèle au sol. La centrale d'acquisition, qui recueille toutes les données des capteurs a été fixée sur une paroi. Les données des sondes sont enregistrées toutes les 10 minutes, sur une carte qui est relevée tous les mois.

Afin d'assurer les conditions de fonctionnement et de suivi de l'étude par la station climatique, un cahier de visite a été mis à disposition afin de noter tout passage en dehors des visites touristiques. Un inventaire des clés a été nécessaire afin d'éviter toute intrusion dans le monument. Enfin, une bâche a été tendue dans la chapelle pour retenir l'eau de ruissellement et permettre aux sondes de contact et de mesure dans l'air de se trouver dans la même atmosphère.

Le suivi de cette étude a consisté en une visite mensuelle, par une restauratrice du patrimoine, accompagnée par un archéologue du Service archéologique départemental dans le but de :

- relever les données de la carte;
- observer l'humectation des pierres par des relevés sur calques;
- observer l'apparition des sels, en faire des prélèvements si besoin;
- noter toute observation nouvelle ou événement nouveau dans le monument.

Premiers résultats

Les observations au cours de l'année ont permis de montrer que le ruissellement vient directement de l'espace de la chapelle.

Les premiers résultats montrent que les épisodes d'humectation des pierres par condensation sont fréquents et se produisent tout au long de l'année. Par exemple, pour le mois de janvier 2017, les sondes révèlent qu'il y aura eu 14 jours durant lesquels de la condensation s'est formée (environ 7 jours dans la chambre et 6 dans la chapelle) (**fig. 8**). De manière générale, il semble que ce soit le couloir qui subisse le plus de contrastes. Le monument est donc très régulièrement humecté.

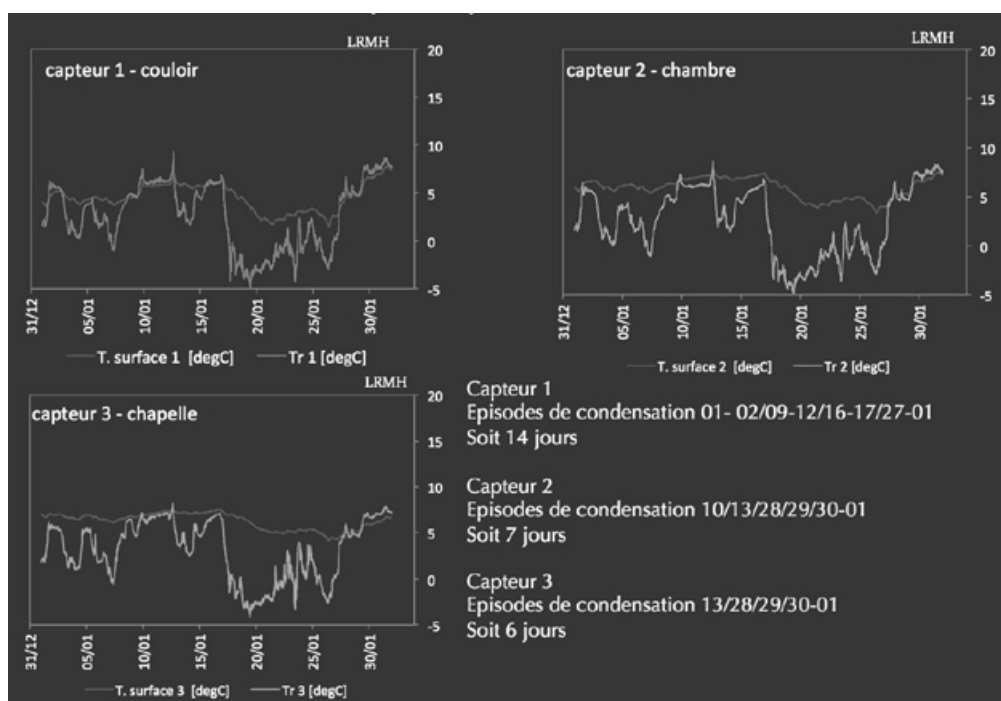


Figure 8 : Exemple d'épisodes de condensation dans le monument au cours du mois de janvier 2017. © LRMH.

Par ailleurs, l'étude permet aussi de voir que les visites ont un impact certain sur le climat : le moindre passage modifie température et humidité (**fig. 9**). Certains jours de forte visite, de la condensation se forme sur les parois à cause de la forte augmentation de température de l'air due aux visiteurs.

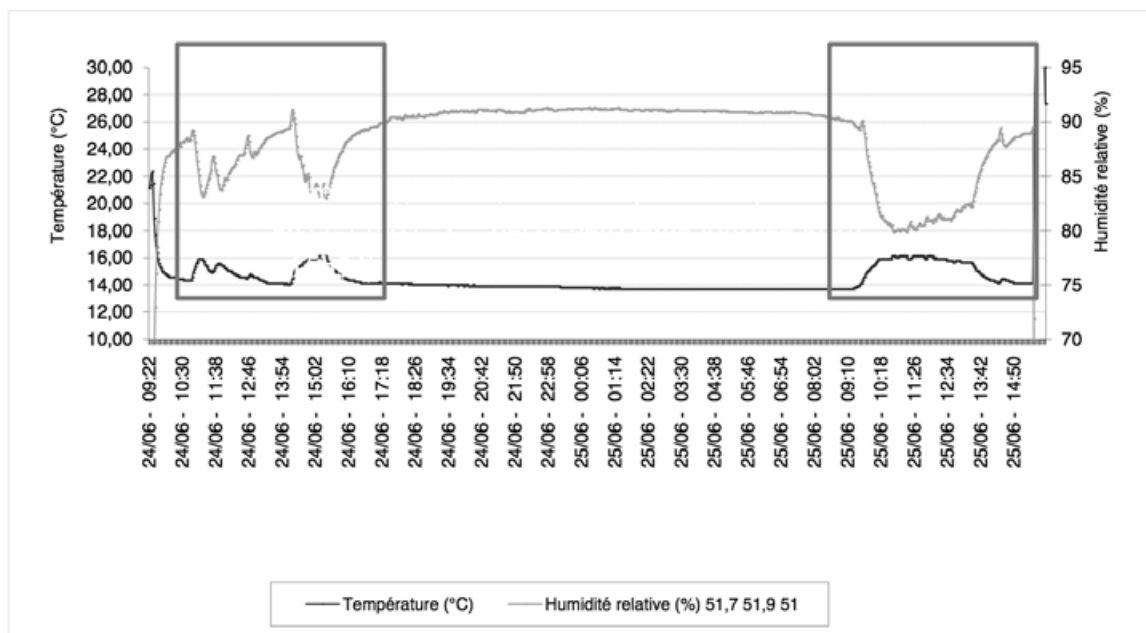


Figure 9 Impact des visites sur la température et l'humidité relative dans la chambre funéraire, exemple du 24-25 juin 2014. © LRMH.

Conclusion

L'étude climatique est un outil précieux pour mieux comprendre les phénomènes d'humectation des pierres, en rapport avec le climat extérieur et le passage des visiteurs, et cerner l'influence de chacun sur les phénomènes intérieurs.

Suite à cette étude, les questions restent ouvertes sur les mesures qu'il faudra envisager : faudra-t-il dessaler/nettoyer les pierres ? Faudra-t-il dé-restaurer ? Faudra-t-il limiter/arrêter les visites ? Quelle gestion adopter ? Il semble nécessaire de mettre en place un projet pluri-institutionnel et pluri-disciplinaire¹, en concertation, pour mener à bien la conservation à long terme de ce site de notre patrimoine archéologique, sans équivalent.

¹ LRMH, DRAC (conservation régionale des Monuments historiques, service régional de l'Archéologie, unité départementale de l'Architecture et du Patrimoine), CD56 (Service départemental archéologique du Morbihan), CNRS (LARA), association Paysages de Mégalithes, Compagnie des ports du Morbihan (gestionnaire du site).

Références bibliographiques

Cassen S., Lescop L., Grimaud V., Vourc'h M. (2013), *Gavrinis (Larmor-Baden, Morbihan) À la recherche de représentations d'une tombe à couloir du IV^e millénaire*, rapport d'opération de relevés pariétaux et architecturaux, DRAC Bretagne, CNRS, ENSA, université de Nantes, Conseil départemental du Morbihan, 370 p.

Vergès-Belmin V., Touron S., Boust F. (2014), *Larmor-Baden – 56, Morbihan (Bretagne), Ile de Gavrinis, cairn. Constat d'état, cartographie des*

altérations, impact des visiteurs sur le climat intérieur, analyses in situ et bilan des contaminations biologiques et salines, rapport n° 682D, Paris, LRMH, octobre 2014.

Trichereau B., Duchêne S., Detalle V., Martos-Levif D., Brissaud D. (2013), *Larmor-Baden – 56, Morbihan (Bretagne), Ile de Gavrinis, cairn, analyses physicochimiques et microbiologiques*, rapport 682C, Paris, LRMH, novembre 2013.

Les auteurs

Émilie Heddebaux Restauratrice du patrimoine (auteur auquel doit être adressé la correspondance), Paysages de Mégalithes, 24 bis rue du Tumulus 56340 Carnac, emilie.heddebaux@megalithes-morbihan.fr

Olivier Agogue Archéologue, chef du Service départemental d'archéologie du Morbihan, UMR 6566 du CNRS, 2 rue Saint-Tropez CS 82400 56009 VANNES Cedex, olivier.agogue@morbihan.fr

Véronique Vergès-Belmin Ingénieur de recherche, responsable du pôle Pierre, LRMH, USR 3224, 29, rue de Paris 77420 Champs-sur-Marne, veronique.verges-belmin@culture.gouv.fr