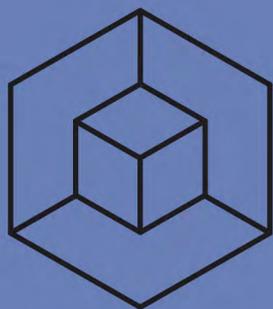


conservation-restauration des biens culturels



Cahier technique N° 24

XXXes

Biographie de l'objet

Actes des
Journées des restaurateurs en archéologie
organisées par le laboratoire *Materia Viva*
Toulouse, 13 et 14 octobre 2016

Toulouse
2016



avec la participation du laboratoire *Materia Viva*

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

ARAAFU

2019

CT N° 24

RELECTURE ET CORRECTIONS

Pascale Le Roy-Lafaurie
Inocencia Queixalòs
Silvia Païn

COUVERTURE

Silvia Païn

MAQUETTE ET MISE EN PAGE

Laurent Tournier

ISBN : 978-2-907465-27-9

Avant-propos

Pour la trentième édition des Journées des restaurateurs en archéologie, les 13 et 14 octobre 2016, de nombreux professionnels se sont réunis à Toulouse, invités par le laboratoire Materia Viva. Plusieurs thématiques ont été abordées. La première, « C'est pas sorcier... mais comment ça marche ? » a été l'occasion d'aborder les mécanismes en jeu lors de traitements classiques ou innovants. La deuxième, « Biographie de l'objet », concernait plutôt les connaissances apportées par les traitements sur l'histoire des objets, ainsi que celle nécessaire au conservateur-restaurateur apportée par d'autres spécialistes. La troisième, intitulée avec humour « Les précieuses ridicules...ou la clarté de notre jargon », mettait l'accent sur les dialogues entre professionnels de différents domaines. Une session « Actualités brûlantes » a permis de faire le point sur des sujets émergents. Les interventions ont suscité des réflexions et des débats enrichissants pour tous.

Voici enfin les actes de ces XXX^{es} Journées des restaurateurs en archéologie, avec toutes les excuses de l'éditeur pour les délais apportés à cette publication. Nous remercions les auteurs pour leur patience, ainsi que le laboratoire Materia Viva, pour sa participation à cette publication.

Sommaire

Avant-propos

3 GWENAËL LEMOINE, MARINE CROUZET, CATHERINE DIDELOT, LAURE MEUNIER

Les polyéthylènes glycols en conservation des matériaux organiques archéologiques

13 AMANDINE COLSON

La 3D comme outil de suivi des bateaux en bois, issus du contexte archéologique

19 MARC GUYON, LAURE MEUNIER

Le chaland LSG4 : l'interdisciplinarité pour augmenter et renouveler la connaissance

29 FLORENCE CAILLAUD, ALESSANDRO ERVAS

Le casque de la Malpensa (Lombardie) : bronziers, restaurateurs et forgerons

40 EMMANUEL DESROCHES

Dé-restauration de huit reliefs de la frise des centaures du théâtre d'Orange, musée d'Art et d'Histoire, 2014-2016

50 HÉLÈNE HUYSSEUNE, RAPHAËLLE CHEVALIER, AVEC LA COLLABORATION DE STÉPHANE MARION, JENNY KAURIN, CYRILLE LE FORESTIER ET MICHELINE KÉRIEN

La nécropole gauloise de Bobigny (Seine-Saint-Denis), une étude en cours : apport de la conservation-restauration à la connaissance du mobilier métallique et de son environnement

64 GRÉGORY BAYLE, CATHERINE DIDELOT, MERCEDES MAYA-PION, STÉPHANE PÉAN, FRÉDÉRIC BLASER, CHRISTINE CHAUSSÉ

Interventions interdisciplinaires sur des restes de mammoth en contexte d'archéologie préventive : le cas du site du Paléolithique moyen de Montereau-sur-le-Jard (Seine-et-Marne)

72 DELPHINE HENRI, EMELINE RETOURNARD

À quoi sert l'étude des textiles préliminaire à la restauration du mobilier?

79 JULIA BECKER, GWENOLA CORBIN, GWENAËL LEMOINE, CHARLÈNE PELÉ-MEZIANI

Archéologie du contemporain : quand le cuir et le plastique se rencontrent

92 MÉLANIE CRESSENT, AYMERIC RAIMON

Regards croisés sur la restauration d'un lot de vases miniatures métalliques découverts à l'île de Saï (Soudan)

LES POLYÉTHYLÈNES GLYCOLS EN CONSERVATION DES MATÉRIAUX ORGANIQUES ARCHÉOLOGIQUES

Gwenaël Lemoine, Marine Crouzet, Catherine Didelot, Laure Meunier

Résumé La famille des polyéthylènes glycols (PEG) est employée depuis de nombreuses années en conservation-restauration des matériaux organiques archéologiques gorgés d'eau. De fait, si ces produits sont couramment utilisés selon des protocoles qui peuvent sembler similaires, ceux-ci varient selon les laboratoires, les collections traitées et leurs problématiques de recherche. Nous nous proposons de présenter ici deux sujets de recherche récents sur les traitements aux PEG : la question du recyclage des bains ainsi que celui de l'extraction des sulfures de fer. Enfin, les impératifs de conservation post-traitement et des exemples de traitements alternatifs seront abordés. Le polyéthylène glycol ou PEG est connu dans le milieu de la conservation-restauration des objets archéologiques en matériaux organiques gorgés d'eau car il est utilisé pour leur consolidation avant séchage, notamment par lyophilisation. Or, derrière ce produit et cette technologie, désormais validée par la communauté dans son principe et ses résultats, se cache le vaste panel des pratiques d'ateliers qui invitent à penser ce traitement de manière plus étendue et plus complexe. Depuis les années 70 les PEG sont les produits les plus couramment employés en conservation-restauration des matériaux organiques gorgés d'eau, avant un séchage lent ou avant une lyophilisation (Seborg, 1962; Christensen, 1970; Katzev, 1972; Grattan, 1981; Barbour, 1982; de La Baume, 1990), afin d'éviter les effondrements et dégradations des structures cellulaires induits par l'évaporation de l'eau.

Les polyéthylènes glycols

Les polyéthylènes glycols sont des chaînes carbonées formées par la répétition du motif éthylène glycol, également appelé oxy-éthylène. La masse moléculaire, qui augmente avec la longueur de la chaîne, est associée aux initiales PEG : on parle de PEG 400, 1500, 4000. Il s'agit de moyennes, par exemple le PEG 400 est composé d'un mélange de PEG avec des chaînes de 8 ou 9 motifs.

La masse moléculaire permet de connaître les propriétés essentielles à la mise en œuvre d'un traitement de conservation-restauration telles que la température de fusion, l'affinité avec l'eau, la viscosité, la pénétration, le comportement après le retrait de l'eau, la compatibilité avec les cellules organiques ou avec d'autres traitements concomitants, l'hygroscopicité, l'affinité avec un certain pH, etc. (Brownstein, 1982).

La température de fusion des PEG augmente avec la masse molaire : à température ambiante, les PEG 600 et inférieurs sont liquides – il s'agit d'un liquide incolore, épais et au toucher un peu gras et visqueux -, au-delà, tous les PEG sont solides et se présentent sous la forme

de paillettes ou de petites billes blanches et cireuses. La température de fusion du PEG 1500 est d'environ 46 °C et celle du PEG 4000 est d'environ 56 °C.

La principale propriété qui nous intéresse en conservation-restauration est l'affinité avec l'eau. Jusqu'à 600, le PEG est miscible dans l'eau. Au-delà, les PEG sont solubles et pour les PEG les plus longs il est nécessaire de chauffer et agiter l'eau. L'élévation de la température améliore la solubilité et abaisse la viscosité des PEG. Les PEG sont également solubles dans des solvants organiques polaires (alcool, acétone...).

La présence de PEG dans l'eau modifie sa tension de surface en abaissant la polarité du mélange et donc les forces mises en jeu quand l'eau s'évapore. Cette propriété est utilisée quand on pratique un séchage lent après aspersion ou immersion.

Pour éviter les tensions dues à l'évaporation on peut aussi congeler l'eau; en effet, les tensions dues à la sublimation sont beaucoup plus faibles que celles liées à l'évaporation.

Or les PEG sont cryo-protecteurs : ils protègent les cellules en limitant l'augmentation de volume de l'eau quand elle se transforme en glace. Par contre, le PEG va également abaisser la température de congélation; à partir de certaines concentrations il sera difficile de congeler l'eau contenue dans les capillaires.

La présence de PEG solide à température ambiante assure une consolidation minimum, puisqu'une fois l'eau éliminée on retrouvera le PEG tapissant les parois des cavités naturelles ou dues aux dégradations.

Le PEG a également des désavantages. Les bains de PEG sont à la fois un milieu favorable au développement de microorganismes ainsi qu'un milieu corrosif pour le fer et ses sels. Enfin, son hygroscopicité - qui sera d'autant plus forte que sa masse moléculaire est faible - rend les matériaux organiques traités encore plus sensibles aux variations hygrométriques.

Les protocoles

Le PEG en solution dans l'eau peut être appliqué par aspersion ou en imprégnation.

Les petits poids moléculaires (inférieurs à 1000) sont utilisés pour le traitement des matériaux souples tels que les vanneries (Bilz, 1998) ou les cuirs (Morris, 1978), les cordages (Wevers, 1990) ou parfois les textiles (Tarleton, 1995) en un seul bain, avec ou sans lyophilisation. La concentration dans ces cas-là reste inférieure à 35 % massique. Il est aussi possible de trouver des traitements à base de PEG de poids moléculaire un peu plus élevé associés à des assouplissants tels que le glycérol (Schaffer, 1976).

Pour le bois, le PEG 400 a surtout été retenu pour avoir le mérite de combiner une bonne mouillabilité, un effet cryo-protecteur performant et une bonne tenue mécanique au séchage sans l'aspect trop brillant ou collant (littéralement « pégueux ») que peuvent avoir les PEG de plus faibles poids moléculaires.

Les traitements des bois gorgés d'eau au moyen de PEG de faibles masses moléculaires ont d'abord été envisagés pour des épaves avant de connaître leurs limites : suintements, affaissements, empoussièremment facilité par la viscosité de surface, trop grande hygroscopicité (Masuzawa a, 1974; MacLeod, 1991 a et b; Almkvist, 2004). La première solution a été d'aller vers une augmentation de la concentration pour renforcer les structures, mais finalement des PEG de plus grandes masses moléculaires ont été préférés en une ou deux étapes d'application (Choi, 1988; Kaenel 1993), associés à des PEG de faibles masses moléculaires.

L'avantage de ces traitements en deux étapes (Hoffmann, 1986) est de combiner les propriétés de chacun des PEG. Le PEG de faible masse va pénétrer plus loin et tapisser les parois les plus fines tout en apportant sa souplesse ainsi que ses propriétés antigel nécessaires à la conservation et au traitement, tandis que le PEG de haut poids moléculaire va apporter une tenue mécanique supplémentaire et diminuer la sensibilité hygroscopique du premier. De plus, Le PEG de faible masse permet de faciliter la pénétration et l'accroche des molécules du PEG de grandes masses moléculaires (Skinner, 1993).

Différents mélanges ont ainsi pu être testés et restent très utilisés, notamment pour les épaves : 400+1500, 400+4000, 200+2000 etc. Une fois les propriétés intrinsèques de chacun prises en compte, le choix précis d'un type de PEG ou d'un autre dépend ensuite de l'histoire et de l'habitude de chaque pays ou institution (traditions, axes de recherche, facilité d'approvisionnement (Dresen, 1990).

En fonction de l'essence et de la densité du bois archéologique (la densité dépendant de l'essence et de l'état de dégradation plus ou moins avancé), la concentration peut être ajustée (Grattan, 1986) mais elle oscille généralement entre 10 et 40 % pour un bois destiné à être lyophilisé, et jusqu'à saturation à 80 % pour un bois destiné à un séchage lent contrôlé. La densité des bois gorgés d'eau est évaluée généralement au moyen d'un test empirique pratiqué avec une aiguille ou, dans le meilleur des cas, en comparant le poids de l'objet à traiter à une référence de la même essence et non altérée (système PEG-con) (Cook, Grattan, 1991).

Le temps d'imprégnation fait aussi partie des paramètres variables en fonction de la densité mais aussi des dimensions des objets (Masuzawa, 1974 b) : même pour un très petit objet très dégradé un minimum de trois semaines est nécessaire à la bonne osmose de la solution PEG-eau à l'intérieur des parois cellulaires. Des pièces de bois épaisses de plusieurs dizaines de centimètres nécessiteront plusieurs mois d'imprégnation. Ces ajustements permettent une approche adaptée à chaque objet et l'installation de protocoles d'atelier associant un diagnostic à un type de traitement pour une optimisation des solutions de traitement, des contenants et des délais.

L'optimisation des traitements au PEG ne se fait plus tant sur le choix du poids moléculaire que sur les modalités des traitements. En effet, les temps d'imprégnation ne sont pas exempts de risques pour les objets : phénomènes d'acidification des bains, d'encrassement, d'opacification, ou odeurs généralement liées au développement de microorganismes naturellement favorisé par un bain statique riche en matière organique.

Lors de l'imprégnation d'un objet avec du PEG en phase aqueuse, plus le traitement est long, plus le développement de bactéries, de moisissures et de levures est important. Elles proviennent toutes du bois, contaminé durant son enfouissement. La solution la plus immédiate à ce problème consiste à adapter la taille des bains à celle des objets, à ne pas mélanger des objets provenant de contextes archéologiques différents (risques de contaminations croisées) et surtout à éliminer les solutions de PEG après utilisation.

Différents biocides ont été ponctuellement utilisés afin de limiter les développements des microorganismes et éventuellement de permettre de réutiliser les solutions de PEG, sans qu'aucun d'eux ne s'impose. De plus, la présence de biocides dans les bois traités peut entraîner des altérations à long terme. Enfin, en cas de réutilisation des bains, le biocide doit être mis dans des doses dépassant le seuil prévu pour l'application normale du produit, avec un effet cumulatif. Cela n'empêche pas la colonisation du milieu et le développement de biofilm

en surface des objets et sur les parois du bac de traitement, en plus d'un noircissement de la surface. Ce biofilm présente des risques pour l'objet et pour l'opérateur.

Le recyclage des bains

Le recyclage des bains est apparu comme une nécessité au laboratoire ARC Nucléart, qui gère 130 000 litres de solution de PEG, alors que le remplacement total ou partiel des solutions à la fin de chaque traitement a été considéré comme trop onéreux, entre le retraitement des déchets et l'achat de nouvelle matière première. Afin de trouver une solution efficace à moindre coût, les modèles utilisés dans les industries de retraitement de l'eau ont été examinés et adaptés.

Cette démarche, menée sur dix années, permet, au lieu de rajouter des produits dans les bains, de retirer les micro-organismes qui les contaminent¹. En nettoyant et en recyclant les solutions de PEG en permanence, le bois archéologique devient le seul élément contaminant. Il n'est donc plus nécessaire de rajouter du biocide, et les bains étant nettoyés et filtrés en continu, ils peuvent être réutilisés quasiment à l'infini. Des contrôles mensuels à l'IRTF et bisannuels avec un HPLC ont permis de vérifier la stabilité des PEG employés (principalement 2000 et 4000). Les spectres obtenus sont en tout point similaires à ceux du PEG neuf. Cela permet d'éviter de gérer le problème de la conservation des biocides et de leurs adjouvants sur le long terme, en plus des problématiques de conservation des objets.

Un premier circuit de circulation a ainsi pu être mis en place, avec une filtration à 10 microns dans un premier temps, puis à 2 microns, comme pour le lait micro-filtré, dans un deuxième. Les micro-organismes supérieurs à 2 microns sont ainsi retirés, mais également les matières en suspension provenant de l'objet : sédiment brassé par le bain dynamique, particules de bois... Les filtres utilisés sont en polypropylène et se présentent sous la forme de cylindres avec une toile présentée en accordéon, permettant ainsi à chaque filtre de présenter une surface développée d'environ 5 m². Ils sont en plus lavables, et peuvent donc être réutilisés un grand nombre de fois. Afin de compléter l'action des filtres et pour stériliser le bain, des lampes UVc ont été ajoutées au circuit. Le bain passe dans un tube à double paroi, permettant la circulation du bain autour de l'ampoule. L'eau, l'épaisseur et la vitesse de la solution lors de la stérilisation empêche le PEG d'être altéré au contact des UV.

La flore bactérienne se développant lorsque le pH est supérieur à 7, le pH des bains est contrôlé mensuellement et maintenu entre 5 et 6 par l'ajout ponctuel d'acide citrique, biodégradable et non toxique. Enfin, une partie des filtres a été remplacé par des cylindres pouvant être chargés soit avec du charbon actif, dont les grains très poreux permettent de retenir à la fois physiquement et chimiquement les grosses molécules et les gaz dissous, soit avec des résines échangeuses d'ions, qui présentent une affinité pour des molécules de plus petite taille à charge électrostatique positive ou négative. Les ions mobiles du bain sont retirés et le rendent ainsi hypotonique, pour pouvoir forcer une partie des ions mobiles du bois à sortir selon le principe de la pression osmotique. Ces charges sont changées régulièrement, générant des déchets peu volumineux et facilement « incinérables ».

¹ Loïc Caillat, biologiste, mis à disposition par le ministère de la Culture et de la Communication, est à l'origine de l'élaboration du système de filtration utilisé actuellement à ARC Nucléart.

Ce système de bains dynamiques permet de réaliser des économies substantielles, mais également de réduire l'impact environnemental, ainsi que l'exposition des opérateurs aux micro-organismes potentiellement pathogènes.

Les sels de fer

Autre problème majeur des bains de PEG, les effets corrosifs du PEG au contact de certains produits de dégradation du fer présent dans les objets composites ont suscité de nombreuses recherches, notamment sur l'ajout d'un inhibiteur de corrosion (Argyroupoulos *et al.* 1999 & 2000, Bobichon *et al.* 2000).

L'accumulation des composés ferreux et soufrés dans les bois archéologiques pose de réels problèmes de conservation. Les sulfures, formés dans le bois par activité bactérienne dans le milieu archéologique (Wetherall *et al.* 2008), sont instables au contact de l'air et dans des conditions d'humidité élevée; ils s'oxydent et précipitent en sels volumineux qui affaiblissent le matériau (Sandström *et al.* 2004; Almkvist, Persson, 2006; Fors, Richards, 2010). Les inclusions minérales gênent la pénétration des résines de consolidation lors du traitement des bois gorgés d'eau (Sandström *et al.* 2005; Godfrey *et al.* 2001). Une fois secs, les bois continuent de se dégrader sous l'action de l'oxygène et des conditions d'hygrométrie trop élevée; les composés soufrés se transforment en sulfates et acide sulfurique, acidifiant le bois jusqu'à un pH inférieur à 2.

Face à cette problématique et s'inscrivant dans les recherches internationales sur ce sujet, entreprises notamment par la Suède, Arc'Antique mène une étude (avec le CNR-Ivalsa à Florence et l'École supérieure du bois à Nantes), regroupant spécialistes du bois, conservateurs-restaurateurs, anatomistes du bois, physiciens et chimistes. L'objectif de cette recherche est d'améliorer les traitements chimiques d'extraction par complexants et réducteurs et d'évaluer leur impact sur les matériaux organiques, à l'échelle microscopique par observation de l'anatomie du bois avant et après traitement, et par analyses chimiques et physiques.

Un questionnaire a été adressé en 2013 à la communauté internationale des chimistes en conservation et des conservateurs-restaurateurs, sur les traitements d'extraction des composés ferreux appliqués aux matériaux organiques. Les oxyhydroxydes de fer (lépidocrocite, goethite) sont communément extraits par voie chimique avant imprégnation et séchage des objets. Les produits cités sont les complexants : EDTA disodique ou tétrasodique, acide citrique, acide oxalique, DTPA, EDMA et EDDHMA²; le dithionite de sodium, réducteur parfois couplé au citrate d'ammonium, agent complexant alcalin (MacLeod *et al.* 1991, 1994). L'EDTA disodique donne les résultats les plus satisfaisants sur les oxydes de fer (Pelé *et al.* 2015, 2016). Les sulfures de fer, comme la pyrite, nécessitent quant à eux un puissant oxydant pour être transformés en oxy/hydroxydes de fer avant traitement à l'EDTA : le persulfate de sodium et le peroxyde d'hydrogène ont été précédemment testés (Tran *et al.* 2005; Tran, 2011). Les traitements d'extraction sont cependant à optimiser selon d'une part les niveaux de dégradation des bois et, d'autre part, les paramètres suivants : concentration, pH, durée, cinétique du traitement chimique.

² L'acide diéthylènetriamine-pentaacétique, EDMA ou EDDHMA, possède deux groupes phénol qui augmentent sa stabilité sur une large échelle de pH (entre 3 et 11) et la dissolution des oxydes de fer; mais la taille de sa molécule ralentit sa diffusion dans l'objet, augmentant considérablement les durées de traitement (Richards *et al.*, 2010).

Dans l'attente de traitements efficaces et inoffensifs pour le bois, la politique d'Arc'Antique est d'éliminer au maximum les sulfures et oxydes de fer par nettoyage des bois et lessivage au cours du stockage, d'adapter le traitement d'imprégnation et d'insister sur les préconisations de conservation à long terme. Le choix d'Arc'Antique a été de remplacer le PEG 400 par du PEG 1500, moins hygroscopique, dans le cas de bois imprégnés d'oxydes et de sulfures de fer, en attendant de trouver un traitement d'extraction adapté. Les objets traités provenant de fouilles sous-marines et, surtout, terrestres, sont de petites dimensions (généralement inférieures à 40 cm de long, pour une épaisseur de 0,5 à quelques centimètres); les bains d'imprégnation sont relativement courts, maximum 4 mois dans chaque PEG, et la concentration de PEG est comprise entre 5 et 30 %³.

La priorité est ici d'assurer la conservation à long terme, au risque d'avoir un rendu moins satisfaisant d'un point de vue esthétique, avec l'apparition de petites fissures sur la surface (car le PEG 1500 est de plus longue chaîne moléculaire que le 400 et donc pénètre plus difficilement la paroi cellulaire).

Conservation post traitement et traitements alternatifs

L'hygroscopicité des PEG impose de conserver tout matériau organique gorgé d'eau imprégné et traité dans un climat avec peu de changements de température et surtout une humidité relative stable ne dépassant pas 55 % afin de ne pas favoriser les dégradations qui pourraient être dues aux PEG présents (Olek *et al.*, 2016). Un contrôle précis des conditions environnementales et un suivi des objets traités est donc à recommander pour tout objet traité au PEG, car les propriétés de ces matériaux sont actuellement indissociables d'une forte sensibilité à l'humidité relative et d'un risque consécutif de déformation voire d'acidification ou d'émission de composés organiques volatils (Brownstein *et al.*, 1982; Cooke *et al.*, 1993).

Ces contraintes demeurant présentes et certains laboratoires possédant d'autres traditions de traitement des matériaux organiques gorgés d'eau, de nombreuses alternatives aux PEG ont été testées telles que différents sucres (sucrose [Parrent, 1985; Hoffmann, 1993; Kennedy, 2004], le lactitol [Wevers, 2004]...) ou des sels (chrome, alun [Braovac, 2012; Häggström *et al.*, 2013] ...) dont la solubilité et la cristallisation au séchage donnent des propriétés structurales proches de l'exigence de conservation à laquelle les PEG peuvent répondre. Cependant, ces matériaux se caractérisent par un vieillissement dans le temps discutable : manque de tenue et risque d'infestation pour le premier et cristallisation et acidification pour les seconds.

D'autres composés (cellulose [Van der Veide, 1979], colophane [Mc Kerrell, 1972]) plus proches de la nature des matériaux organiques, ou au contraire des résines dérivées de la chimie du pétrole – mélamine formol ou kauramine (Camilli, 2008; Wittkopper, 2001; Kocabas, 2012), silicones (Kavvouras, 2009), styrène (Tran, 2011) – ont également été testés, mais la difficulté de mise en œuvre d'une part ou la toxicité des solutions, voire le recours à une irradiation pour permettre la polymérisation d'autre part, rendent ces procédés aujourd'hui assez marginaux, bien qu'efficaces en matière de conservation. Par ailleurs, des recherches se sont penchées récemment sur des acides gras (Chaumat, 2010) ou des protéines (chitosan [Walsh, 2016]) qui semblent bien fonctionner, mais pour lesquels le recul n'est pas encore assez grand, et qui posent un problème d'approvisionnement en matière première (rare ou

³ Sans commune mesure donc avec les épaves imprégnées à saturation de PEG (jusqu'à 80 %) pendant des années avant un séchage lent contrôlé, comme ça a été le cas pour le Vasa (Stockholm).

préparation complexe). Enfin, des méthodes utilisant le CO₂ supercritique ont également été testées sur le liège, par exemple, et sont à suivre même si, là encore, la mise en œuvre et l'équipement nécessaire sont assez complexes (Cretté, 2010).

Conclusion

Aujourd'hui encore les PEG restent les produits les plus utilisés pour la conservation des matériaux organiques gorgés d'eau tels que le bois, le cuir et les fibres. Leurs avantages sont multiples : à la fois consolidant, tensioactif et cryo-protecteur, bonne pénétration, facilité d'utilisation et innocuité pour l'opérateur. Leurs contraintes et effets secondaires – milieu corrosif pour les métaux, hygroscopicité, surtout pour les PEG de bas poids moléculaires, milieu favorable au développement des microorganismes – sont suffisamment bien connus et documentés pour adapter les traitements, les environnements de travail et de conservation ainsi que les outils de suivi en toute prise de conscience.

Références bibliographiques

- Almkvist G.** (2004), « The movement and stability of PEG in the Vasa wood ». Dans *Proceedings of the 9th ICOM Conservation group on wet organic archaeological materials*, Copenhagen, International council of museums, Committee for conservation, Working group on wet organic archaeological materials, p. 269-278.
- Almkvist G., Persson I.** (2006), « Extraction of iron compounds from wood from the Vasa », *Holzforschung*, n° 60, p. 678-684.
- Argyropoulos V., Rameau J.-J., Dalard F., Degrygnon C.** (1999), « Testing Hostacor IT as a corrosion inhibitor for iron in polyethylene glycol solutions », *Studies in Conservation*, vol. 44, p. 9-57.
- Argyropoulos V., Degrygnon C., Guilminot E.** (2000), « Monitoring treatments of waterlogged iron-wood composite artifacts using Hostacor IT-PEG 400 solutions », *Studies in Conservation*, vol. 45, p. 253-264.
- Barbour R.J., Leney L.** (1982), « Shrinkage and collapse in waterlogged archaeological wood : contribution III, Hoko River Series », dans *Proceedings of the ICOM Waterlogged wood working group conference, Ottawa, 15-18 September 1981*, Ottawa, ICOM, p. 209-225.
- Bilz L., Grant T., Young G.** (1998), « Treating waterlogged basketry : a study of polyethylene glycol penetration into the inner bark of western red cedar », dans *Proceedings of the 7th ICOM Conservation group on wet organic archaeological materials*, Grenoble, International council of museums, Committee for conservation, Working group on wet organic archaeological materials, p. 249-253.
- Braovac S.** (2012), « The presence of sulfuric acid in alum-conserved wood - Origin and consequences », *Journal of Cultural Heritage*, vol. 13, n° 3, p. 203-208.
- Brownstein A.** (1982), « The chemistry of polyethylene glycol », dans *Proceedings of the ICOM Waterlogged wood working group conference, Ottawa, 15-18 September 1981*, Ottawa, ICOM p. 279-287.
- Camilli A.** (dir.) (2008), « Pisa. Cantiere delle navi antiche e Centro di restauro del legno bagnato. Resoconto delle attività 2007-2008 », *Notiziario Toscana*, vol.3, p. 285-292.
- Chaumat G.** (2010), « Study of the Azelaic and Palmitic Acids Associations to Treat Waterlogged Archaeological Wood ». Dans *Proceedings of the 11th ICOM Conservation Group on Wet Organic Archaeological Materials*, Greenville, The International Council of Museums, Committee for Conservation Working Group on Wet Organic Archaeological Materials, p. 207-218.
- Choi K.-N.** (1988), « The conservation of Shinan shipwreck », dans *The conservation of Far Eastern art : preprints of the contributions to the Kyoto Congress, 19-23 septembre*, London, IIC, p. 101-102.
- Christensen B.** (1970), *The conservation of waterlogged wood in the National museum of Denmark. With a report on the methods chosen for the stabilization of the timbers of the viking ships from Roskilde Fjord and a report on experiments carried out in order to improve upon these methods*, Copenhagen, N. Museum of Denmark, (coll. Studies in museum technologies).

- Cook C., Grattan D.** (1991), « A method of calculating the concentration of PEG for waterlogged wood », dans *Proceedings of the 4th ICOM Group on wet organic archaeological materials*, Bremerhaven, International council of museums, Committee for conservation, Working group on wet organic archaeological materials.
- Cooke V. et al.** (1993), « Reversing old PEG treatments of objects from the Ozette site », dans *Proceedings of the 5th ICOM Conservation group on wet organic archaeological materials*, Portland, International council of museums, Committee for conservation, Working group on wet organic archaeological materials, Bremerhaven, Ditzen Druch and VerlagsGmbH Deutsches Schiffarts Museum, p. 97-110.
- Cretté S.** (2010), « Conserving waterlogged archaeological corks using supercritical CO₂ and monitoring their shrinkage using structured-light 3D scanning », dans *Proceedings of the 11th ICOM Conservation group on wet organic archaeological materials*, Greenville, International council of museums, Committee for conservation, Working group on wet organic archaeological materials, p. 257-276.
- Dresen U.** (1990), « 16th century shipwreck from Maasilinn in Islan Saaremaa - Lifting and conservation », dans *Proceedings of the 4th ICOM Conservation group on wet organic archaeological materials*, Bremerhaven, International council of museums, Committee for conservation, Working group on wet organic archaeological materials, p. 17-24.
- Fors Y., Richards V.** (2010), « The effects of the ammonia neutralizing treatment on marine archaeological Vasa wood », *Studies in Conservation*, vol. 55, p. 41-54.
- Godfrey I., Kasi K., Richards V.** (2001), « Iron removal from waterlogged leather and rope recovered from shipwreck sites », dans P. Hoffmann (éd.), *Proceedings of the 8th ICOM WOAM*, Stockholm 2000, Stockholm, ICOM, p. 439-470.
- Grattan D.** (1982), « A practical comparative study of treatments for waterlogged wood. Part I and II », *Studies in Conservation*, vol. 27, n° 3, 1982, p. 124-136.
- Grattan D.** (1986), « Some observations on the conservation of waterlogged wooden shipwrecks », *Australian institute for the conservation of cultural material bulletin*, vol. 12, n° 3 et 4.
- Hägström C., Sandström T.** (2013), *Alum-treated archaeological wood. Characterization and re-conservation, R&D*, Stockholm, Swedish national heritage board, 95 p.
- Hoffmann P.** (1986), « On the stabilization of waterlogged oakwood with PEG. II. Designing a two-step treatment for multi-quality timbers », *Studies in conservation*, vol. 31, n° 3, p. 103-113.
- Hoffmann P.** (1993), « Sucrose for stabilizing waterlogged wood, II. Stabilization and the degree of degradation », dans *Proceedings of the 5th ICOM Conservation group on wet organic archaeological materials*, Portland, International council of museums, Committee for conservation, Working group on wet organic archaeological materials, Bremerhaven, Ditzen Druch and VerlagsGmbH Deutsches Schiffarts Museum, p. 357-380.
- Kaenel G.** (1993), « PEG conservation of a gallo-roman barge from Yverdon-les-Bains (Canton of Vaud, Switzerland) », dans *Proceedings of the 5th Conservation group on wet organic archaeological materials*, Portland, International council of museums, Committee for conservation, Working group on wet organic archaeological materials, Bremerhaven, Ditzen Druch and VerlagsGmbH Deutsches Schiffarts Museum, p. 143-166.
- Katzev L.M.-L.** (1972), « Conservation of the Kyrenia ship 1971-1972 », *National geographic society research report*, vol. 12, p. 417-426.
- Kavouras P. et al.** (2009), « Use of silanol-terminated polydimethylsiloxane in the conservation of waterlogged archaeological wood », *Studies in conservation*, vol. 54, n° 2, p. 65-76.
- Kennedy A.** (2004), « Conservation of chemically degraded waterlogged wood with sugars », *Studies in conservation*, vol. 59, n° 3, p. 194-201.
- Kocabas U.** (2012), « The latest link in the long tradition of maritime archaeology in Turkey : the Yenikapi shipwrecks », *European journal of archaeology*, vol. 15, n° 2, p. 309-323.
- de La Baume S.** (1990), « Les matériaux organiques », dans Berducou M. (éd.), *La conservation en archéologie : méthodes et pratique de la conservation-restauration des vestiges archéologiques*, Paris, Masson, p. 222-270
- Mac Kerrell H.** (1972), « The acetone rosin method for conservation of waterlogged wood », *Studies in conservation*, vol. 17, n° 3, p. 111-125.
- MacLeod I.D., Brooke P., Richard V.L.** (1991), « Iron corrosion products and their interactions with waterlogged wood and PEG », dans P. Hoffmann, (éd.), *Proceedings of the 4th ICOM Conservation group on wet organic archaeological materials*, Bremerhaven,

International council of museums, Committee for conservation, Working group on wet organic archaeological materials, p. 199-211.

MacLeod I.D., Kenna C. (1991), « Degradation of archaeological timbers by pyrite : oxidation of iron and sulfur species », dans P. Hoffmann, (éd.), *Proceedings of the 4th ICOM Conservation group on wet organic archaeological materials*, Bremerhaven, International council of museums, Committee for conservation, Working group on wet organic archaeological materials, p. 133-142.

MacLeod I.D., Mardikian P., Richards V.L. (1994), « Observations on the extraction of iron and chloride from composite materials », dans P. Hoffmann, (éd.), *Proceedings of the 5th ICOM Conservation group on wet organic archaeological materials*, Bremerhaven, International council of museums, Committee for conservation, Working group on wet organic archaeological materials, p. 119-132.

Masuzawa F. (1974), « Change of waterlogged wood impregnated with PEG along the lapse of time », *Conservation science bulletin*, vol. 3, p. 52-58.

Masuzawa F. (1974), « Experiments on the impregnation of waterlogged wood with PEG, Part II », *Conservation science bulletin*, vol. 3, p. 39-46.

Morris K. (1978), « Conservation of leather and textile from the Defence », *Journal of American institute for conservation*, vol. 18, n° 1, p. 33-43.

Olek W. et al. (2016), « Hygroscopic properties of PEG treated archaeological wood from the rampart of the 10th century stronghold as exposed in the Archaeological reserve genius loci in Poznan (Poland) », *Journal of cultural heritage*, vol. 18, p. 299-305.

Parrent J. (1985), « The conservation of waterlogged wood using sucrose », *Studies in conservation*, vol. 30, n° 2, p. 63-72.

Pelé C., Guilminot E., Labroche S., Lemoine G., Baron G. (2015), « Iron removal from waterlogged wood : Extraction by electrophoresis and chemical treatments », *Studies in conservation*, vol. 60, n° 3, p. 155-171.

Pelé C., Lemoine G., Labroche S., Guilminot E., Baron G. (2016), « Extraction of iron compounds from marine organic objects », dans Grant T., **Cook C.** (éd.), *Proceedings of the 12th ICOM Conservation working group on wet archaeological materials*, Istanbul,

International council of museums, Committee for conservation, Working group on wet organic archaeological materials, p. 199-209.

Richards V., Kasi K., Godfrey I. (2010), « Iron removal from waterlogged wood and the effects on wood chemistry », dans Straetkvern K., **Williams E.** (éd.), *Proceedings of the 11th ICOM Conservation working group on wet archaeological materials*, Greenville, International council of museums, Committee for conservation, Working group on wet organic archaeological materials, p. 383-400.

Sandström M., Fors Y., Jalilehvand F., Damian E., Gelius U. (2004), « Analyses of sulfur and iron in marine archaeological wood », dans Hoffmann P., Spriggs J.A., Straetkvern K., Gregory D. (éd.), *Proceedings of the 9th ICOM Conservation group on wet organic archaeological materials*, Copenhagen, International council of museums, Committee for conservation, Working group on wet organic archaeological materials, p. 181-202.

Sandström M., Jalilehvand F., Damian E., Fors Y., Gelius U., Jones M., Salomé M. (2005), « Sulfur accumulation in the timbers of king Henry VIII's warship Mary Rose : A pathway in the sulfur cycle of conservation concern », *Proceedings of the National academy of sciences*, vol. 102, n° 40, p. 14165-14170.

Schaffer E. (1976), « The preservation and restoration of canadian ethnographic basketry », *Studies in conservation*, vol. 21, n° 3, p. 129-133.

Seborg R. (1962), « Conservation of 200-year-old waterlogged boats with polyethylene glycol », *Studies in conservation*, vol. 7, n° 4, p. 111-120.

Skinner T. (1993), « Methods for Investigating the physical structures of waterlogged organic materials and the penetration of PEG », dans *Proceedings of the 5th Conservation group on wet organic archaeological materials*, Portland, International council of museums, Committee for conservation, Working group on wet organic archaeological materials, Bremerhaven, Ditzén Druck and VerlagsGmbH Deutsches Schiffarts Museum, p. 63-78.

Tarleton K. (1995), « Stabilization Methods for Textiles from Wet Sites », *Journal of field archaeology*, vol. 22, n° 1, p. 81-95.

Tran K. (2011), [communication personnelle], Grenoble, Arc'Nucleart, National program of research Prév'Arch.

Tran K. et al. (2011), « A new protocol suitable for the treatment of composite archaeological artefacts PEG

treatment, + freeze drying + radiation curing resin consolidation », dans *Proceedings of the Shipwreck 2011 conference*, Stockholm, Royal institute of technology, p. 166-171.

Tran K., Bertout N., Dalard F., Magnin J.P. (2005), « Trials on chemical and microbiological processes for the oxidation of sulfur compounds in archaeological wood », dans Hoffmann P., Spriggs J.A., Straetkvern K., Gregory D. (éd), *Proceedings of the 9th ICOM Conservation group on wet organic archaeological materials*, Copenhagen, International council of museums, Committee for conservation, Working group on wet organic archaeological materials, p. 227-240.

Van der Veide G. (1981), « The present situation with respect to shipwrecks. A piece of history in conservation of waterlogged wood », dans *Conservation of waterlogged wood. International symposium on the conservation of large objects of waterlogged wood, Amsterdam, 24-28 sept. 1979*, La Haye, Govt. printing and publishing office, p. 9-24.

Walsh Z. (2016), « Natural polymers as alternative consolidants for the preservation of waterlogged archaeological wood », *Studies in conservation*, vol. 62, n° 3, p. 173-183.

Wetherall K.M., Moss R.M., Jones A.M., Smith A.D., Skinner T., Pickup D.M., Goatham S.W., Chadwick A.V., Newport R.J. (2008), « Sulfur and iron speciation in recently recovered timbers of the Mary Rose revealed via X-ray absorption spectroscopy », *Journal of archaeological science*, n° 35, p. 1317-1328.

Wevers A. (1990), « Treatment of waterlogged rope », dans P. Hoffmann, (éd.), *Proceedings of the 5th ICOM Conservation group on wet organic archaeological materials*, Bremerhaven, International council of museums, Committee for conservation, Working group on wet organic archaeological materials, p. 159-172.

Wevers A. (2004), « Experience with lactitol and xy-litol », dans Hoffmann P., Spriggs J.A., Straetkvern K., Gregory D. (éd), *Proceedings of the 9th ICOM Conservation group on wet organic archaeological materials*, Copenhagen, International council of museums, Committee for conservation, Working group on wet organic archaeological materials, p. 311-332.

Wittkopper M. (2001), « Current developments in the preservation of archaeological wet wood with melamine/amino resins at the Romisch- Germanisches Zentralmuseum ». En ligne : <https://www2.rgzm.de/navis/Conservation/ConservationUK.htm> (consulté le 28 mars 2017; trad. C. Chauvin-Brandscheid).

Les auteurs

Gwenaël Lemoine* conservatrice-restauratrice de matériaux organiques, Grand Patrimoine de Loire Atlantique, Laboratoire Arc'Antique, Nantes (44), gwenael.lemoine@loire-atlantique.fr

Marine Crouzet conservatrice-restauratrice d'objets archéologiques, A-Corros expertises, Arles (13), marinecrouzet@gmail.com, mcrouzet@a-corros.fr

Catherine Didelot conservatrice-restauratrice d'objets archéologiques, UTICA, St-Denis (93), uticasaintdenis@wanadoo.fr

Laure Meunier conservatrice-restauratrice, Arc NucléArt, CEA Grenoble (38), laure.meunier@cea.fr

*Auteur auquel doit être adressée la correspondance.

LA 3D COMME OUTIL DE SUIVI DES BATEAUX EN BOIS, ISSUS DU CONTEXTE ARCHÉOLOGIQUE

Amandine Colson

Résumé Les technologies 3D constituent des outils de plus en plus utilisés et mis au service de la préservation du patrimoine. Le monitoring du climat fait partie des standards et, à l'ère du numérique, il est possible de garder un œil sur la température et l'humidité relative de plusieurs pièces à la fois; mais ceci concerne uniquement l'environnement des objets, pas les objets eux-mêmes. Les outils existants faisant état des dégradations et/ou déformations utilisent des techniques conventionnelles et sont basés sur des observations visuelles : très peu d'initiatives en effet utilisent les potentiels de la technologie 3D. Pourtant, dans un contexte où les coûts doivent être maîtrisés, le *monitoring* des changements propres à l'objet présente de nombreux atouts, en particulier pour repérer en amont ce qui pourrait devenir problématique et engendrer des frais importants. Nous présenterons ici un bref état des lieux des connaissances actuelles concernant le suivi 3D de bateaux archéologiques en bois, au niveau européen, via des exemples exposés dans différents musées. Le coût de l'équipement ainsi que les difficultés à choisir la bonne méthode seront également abordés.

Les bateaux et navires en bois issus de fouilles archéologiques constituent des découvertes singulières, de par leur rareté et leur importance scientifique. Cependant, ils ne sont pas sans poser un grand nombre de défis, aussi bien logistiques, archéologiques que conservatoires. L'ensemble des informations récoltées par les différents professionnels doivent être mises en commun pour permettre de planifier toutes les interventions et ce, de façon beaucoup plus complexe que dans des projets de conservation du patrimoine de moins grande ampleur. La durée des projets (plusieurs années, voire plusieurs décennies), la variété disciplinaire des professionnels, ainsi que la dimension des objets, constituent également des enjeux majeurs. Ainsi, l'usage de méthodes conventionnelles telles que la photographie, les relevés topographiques et les dessins archéologiques, auquel s'ajoute le manque chronique de personnel dans les musées, empêchent d'assurer le haut niveau de précision requis pour ce type de projet. Dans le domaine de la conservation du patrimoine bâti, les outils développés dans la construction industrielle sont déjà utilisés – acquisition de la géométrie des bâtiments ou des systèmes de bases de données comme les BIM (Logothetis *et al.*, 2015, p. 181). En archéologie, les techniques d'acquisition tridimensionnelle (comme le scan 3D ou la photogrammétrie) font partie de la gamme d'outils communément utilisée pour documenter les fouilles et mener certaines analyses durant la post-fouille.

Concernant le suivi à long terme des bateaux archéologiques en bois, les initiatives sont encore très limitées. Dans cet article, l'attention sera portée exclusivement sur le suivi ou *monitoring*, et non sur la documentation 3D menée par et pour les archéologues, ces derniers ayant des objectifs bien distincts de ceux des restaurateurs (Colson, 2017, p. 132).

Ici, cinq exemples de projets en Europe seront évoqués : le Vasa (Stockholm, Suède), et le Mary Rose (Portsmouth, Angleterre), projets précurseurs dans le domaine; l'Arles-Rhône 3 (Arles, France), l'Oseberg (Oslo, Norvège) et la Cogue de Brême (Bremerhaven, Allemagne), projets les plus récents.

Enfin, une discussion autour des enjeux du *monitoring* 3D permettra de dresser le portrait des difficultés rencontrées lors du choix des techniques et de la conception du protocole d'acquisition.

Situation actuelle du *monitoring* 3D en Europe

Généralités

Les paramètres affectant la bonne conservation de bateaux en bois issus du contexte archéologique sont les mêmes que pour tout autre objet exposé en musée : la lumière, la température, l'humidité relative et les polluants atmosphériques (Corr, 2000, p. 12). Le recueil des données concernant l'environnement de l'objet fait partie des standards incontestés de la conservation préventive, recommandés par tous les spécialistes (Caple, 2011, p. 9). Les techniques analogues, comme les hygromètres et autres thermomètres, sont progressivement remplacées par des capteurs reliés à différentes plateformes ou logiciels, permettant aujourd'hui un suivi à distance en temps réel.

Bien que les phénomènes de déformation soient avérés dans la quasi-totalité des exemples de bateaux ou navires en bois en exposition en Europe, très peu de musées possèdent un protocole de suivi et ce, pour différentes raisons. Dans bien des cas, le bateau n'est pas suivi sur place par un restaurateur spécialisé, et les régisseurs, peu formés et devant gérer l'ensemble d'une collection, ne peuvent consacrer suffisamment de temps à un cas « particulier » aussi complexe; les ressources financières autant qu'humaines étant très limitées, ces objets relèvent donc d'un vrai challenge.

Les campagnes régulières de dépoussiérage, qu'il est préconisé de réaliser au moins une fois par an, sont souvent la seule occasion de mener des observations plus poussées sur le bateau et de procéder à des bilans diagnostiques de leur état. Pourtant, les outils utilisés pour le suivi restent très conventionnels : photographie numérique, puis bilan diagnostique avec description des dégradations observées. Les documents ne sont généralement pas liés entre eux, rendant non seulement difficile la comparaison d'un suivi à l'autre, mais aussi quasi impossible (faute de temps) une vue d'ensemble de tous les facteurs liés à l'état général de l'objet, aussi bien que l'évolution des dégradations.

Le suivi des phénomènes de déformation des bateaux archéologiques en bois est pourtant capital. Énormément de travaux de recherche ont été menés jusqu'à présent concernant l'étude des comportements de bois archéologiques traités, l'impact de l'humidité relative, ou encore l'impact des produits de corrosion des ferreux sur les bois, mais l'intégration de tous ces facteurs à une vision globale a encore très peu été abordée.

Ainsi, dans ce contexte muséal complexe, des outils permettant de faciliter le suivi des bateaux doivent-ils être impérativement développés. Ceci reste pourtant très confidentiel, et peu d'institutions travaillent à ce jour sur cette thématique : à l'heure actuelle, seul cinq musées sont concernés.

Pourquoi la 3D?

Les technologies 3D s'intègrent parfaitement dans les objectifs d'un *monitoring* des phénomènes de déformation à long terme : des mesures plus précises et plus fiables que les méthodes conventionnelles, et effectuées plus rapidement et avec moins de personnel, constituent ainsi des réponses concrètes aux réalités du terrain.

À ce jour, deux techniques sont en usage : la tachéométrie et la photogrammétrie. La tachéométrie utilise un tachéomètre ou station totale, communément employé en topographie sur les chantiers archéologiques et de construction. Il s'agit d'un instrument utilisant le laser, qui, grâce aux principes de trigonométrie, permet de déterminer la distance entre l'instrument et un point choisi. Chaque point obtient ainsi des coordonnées en trois dimensions (X, Y, Z), associées les unes aux autres dans un ensemble appelé « nuage de points ». La précision de l'acquisition dépend de l'opérateur, puisque les points sont choisis manuellement, sauf s'il s'agit d'un équipement automatisé. La précision varie de 0,1 mm à 10 mm (Andrews *et al.*, 2009, p. 22).

La photogrammétrie utilise une série de photographies pour créer « une reconstruction numérique de la forme et de la géométrie d'un objet » (Guery *et al.*, 2018, p. 227). La superposition des images doit être au minimum de 60 %. Bien qu'inventée à la fin du XIX^e siècle, la photogrammétrie est utilisée par les non-spécialistes depuis une dizaine d'années, c'est-à-dire depuis l'arrivée sur le marché de logiciels procédant de manière très automatisée à une grande partie du traitement des données.

Quelques exemples

Station totale

Depuis 1999, le Musée national maritime de Suède procède deux fois par an au *monitoring* du Vasa, navire de guerre du XVII^e siècle mesurant près de 70 m de long et exposé dans le musée du même nom à Stockholm.

L'acquisition menée avec une station totale consiste en 301 cibles sur la coque, associées à 69 prismes réfléchissants, 6 prismes sur le support métallique, ainsi que 23 prismes de référence installés sur les murs du bâtiment (van Dijk, 2016, p. 5). En plus de l'équipement (un Leica TDA5005), 120 heures-homme sont nécessaires à la prise de données de chaque acquisition, soit 30 jours-homme par an. L'ensemble des données sont traitées par l'Institut royal de technologie de l'université de Stockholm par le Prof. Milan Horemuz, et peuvent être interprétées dans un logiciel programmé spécialement à cet effet sous MatLab. Malgré la complexité des calculs nécessaires, et malgré les cibles qui ne sont pas nécessairement placées de manière optimale, il a été néanmoins possible d'identifier les zones « à risque » du bateau (van Dijk, 2016, p. 8).

À Portsmouth, le navire porte-drapeau de la flotte d'Henri VIII, le Mary Rose, remonté en 1982, est visible par le grand public depuis 2013 dans un nouveau musée. Le protocole est très similaire à celui du Vasa, à ceci près que la station totale est fixe, les acquisitions se font automatiquement sur 31 cibles, placées à l'intérieur du navire, et à intervalles réguliers (Piva *et al.*, 2016) sans intervention de personnel. Depuis 2013, les données sont collectées et archivées automatiquement sur un serveur dédié. Concernant la visualisation et l'interprétation des données, aucun logiciel n'a, à ce jour, été développé à cet effet; cela reste donc encore

très fastidieux. Les travaux de recherche d'Eleonora Piva, dans le cadre de sa thèse de doctorat, ont néanmoins permis de faire la lumière sur certaines des déformations du bateau, toujours en cours de séchage actuellement.

Photogrammétrie

Trois initiatives récentes ont opté pour la photogrammétrie, à savoir le projet de monitoring de l'Arles-Rhône 3, au musée départemental Arles antique (France), développé par Marie-Laure Courboulès et Daniela Peloso; celui de l'Oseberg, au musée des Bateaux vikings d'Oslo (Norvège), développé par David Hauer et Bjarte Aarseth; enfin celui de la cogue de Brême, au Musée national maritime à Bremerhaven (Allemagne), développé par Heidi Hastedt et l'auteure de cet article.

Bien que les protocoles diffèrent les uns des autres, le choix de la photogrammétrie se fonde en partie sur le coût très abordable de l'équipement de base (un appareil photo reflex de bonne qualité, un ordinateur puissant et des logiciels adaptés), mais aussi sur la flexibilité de la technique. En effet, même si, dans le cadre d'un *monitoring*, il est primordial de travailler avec des cibles sur et autour de l'objet, le positionnement de l'opérateur dans l'espace durant l'acquisition reste modulable, ce qui permet une plus grande liberté puisque l'exposition du bateau et les vitrines placées autour de celui-ci sont amenées à changer.

Dans le cas de la cogue de Brême, différentes techniques ont été testées : scan 3D, station totale et photogrammétrie, mais c'est cette dernière qui a été identifiée comme la plus adaptée au contexte du musée (Colson *et al.*, 2015, p. 108). À ce jour, le protocole d'acquisition est encore en cours de développement, en partenariat avec l'institut de Photogrammétrie appliquée et Géo-information de l'université d'Oldenburg, équipe du professeur Thomas Luhmann.

À Oslo, les premières acquisitions du nouveau protocole devraient être menées d'ici fin 2017. La participation d'un ingénieur géomètre est indispensable pour assurer l'atteinte des objectifs en matière de précision. Des simulations sont menées en amont pour placer les cibles de façon optimale et garantir que les jeux de données soient comparables les uns aux autres.

Les collègues d'Arles possèdent déjà un protocole de suivi, en constante optimisation. La base de données leur permet de lier les remarques des restaurateurs avec les autres données collectées sur le bateau. Ainsi des hypothèses peuvent-elles être proposées concernant les futures déformations basées sur les évolutions déjà observées.

Les enjeux du monitoring 3D

À Bremerhaven, l'aventure a commencé dans le cadre d'une participation à une action COST de la Commission européenne (*Colour and Space in Cultural Heritage*¹). Des experts venus d'Allemagne, de France, de Hongrie, d'Italie et de Roumanie, spécialistes en archéologie, conservation-restauration, géo-information, science de l'information, se sont penchés sur la problématique du monitoring de la Cogue de Brême. La diversité des expériences, combinée à celle des domaines de compétence de chacun, a permis de riches discussions contribuant à la définition même des objectifs du *monitoring*.

Après une période de familiarisation avec les outils 3D pour les professionnels des sciences humaines, il a été possible de préciser et d'affiner les objectifs en fonction des possibilités

¹ www.cosch.info

techniques présentées pas les ingénieurs, au fur et à mesure des échanges, lors des réunions de mise au point. Une discussion poussée avec différents spécialistes est l'assurance du développement d'un outil adapté.

Conclusion

La station totale est une technique d'une grande précision, mais l'équipement reste coûteux et doit être manipulé par des opérateurs formés. Les acquisitions peuvent être, en outre, très chronophages (30 jours-hommes pour le Vasa). Enfin, son utilisation, même automatisée, ne dispense pas non plus de la nécessité d'avoir du personnel dédié à l'interprétation et à l'analyse des données, comme le montre l'exemple du Mary Rose.

La photogrammétrie constitue, elle, une véritable alternative, mais la précision est extrêmement variable. Si l'acquisition n'est pas planifiée par un spécialiste, le jeu de données peut se retrouver inexploitable pour un *monitoring* à long terme.

Ces expériences nous montrent donc que la mise en place de *monitoring* à long terme n'est pas chose aisée; les défis techniques ne sont pas insurmontables, mais les ressources allouées dans les musées sont encore trop limitées. La phase de discussion entre spécialistes est absolument incontournable, sous peine de concevoir des outils qui ne correspondent pas aux besoins de l'institution.

Une évaluation des ressources financières et humaines à court mais aussi long terme est primordiale, et doit impérativement se faire avec tous les acteurs amenés à travailler de près ou de loin à la conservation du bateau. Le suivi des bateaux fait partie intégrante de leur présentation, et doit désormais être pensé de façon systématique avec elle.

Remerciements

Eleonora Piva et Eleanor Schofield pour leur retour d'expérience au Mary Rose.

Marie-Laure Courboulès et Daniela Peloso pour leur enthousiasme et les discussions très intéressantes autour du suivi de l'Arles-Rhône 3.

Bjarte Aarseth, David Hauer et Anders Nielsen pour m'avoir ouvert les portes du musée des Bateaux vikings d'Oslo et fait partager leurs réflexions actuelles.

Claire Caron, pour ses suggestions judicieuses en matière de rédaction.

Références bibliographiques

- Andrews D., Blake B., Bryan P., Cromwell T., Lea R.** (2009), *Measured and drawn : techniques and practice for the metric survey of historic buildings*, London, Jon Bedford et Heather Papworth pour English Heritage.
- Caple C.** (2011), *Preventive conservation in museums*, London, Routledge.
- Colson A., Guery J., Ditta M.** (2015), « Bremen Cog'-Long term monitoring of deformation processes », dans *Conservation and digitalization*, Gdansk, Musée national maritime, p. 107-111.
- Colson A.** (2017), « Digital documentation of ships in cultural heritage : A european review », dans *Digital workflows for cultural heritage*, Volumes XLII-2/W5, Ottawa, The International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, p. 129-134. <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-2-W5/129/2017/isprs-archives-XLII-2-W5-129-2017.pdf>
- Corr S.** (2000), *Caring for collections, a manual of preventive conservation*, Dublin, Heritage council of Ireland series.
- Dijk N. P. van, E. K. Gamstedt, I. Bjurhager** (2016), « Monitoring archaeological wooden structures : non-contact measurement systems and interpretation as average strain fields », *Journal of Cultural Heritage* n° 17 (January)p. 102-113. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2015.03.011>
- Guery J., Hess M., Mathys A.** (2018), « Photogrammetry », dans *Digital techniques for documenting and preserving cultural heritage*, London, Kalamazoo and Bradford, Arc humanities press, p. 227-233
- Logothetis S., Delinasiou A., Stylianidis E.** (2015), « Building information modelling for cultural heritage : A review », *ISPRS Annals of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, Volume II-5/W3, p. 177-183. <https://www.isprs-ann-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/II-5-W3/177/2015/isprsannals-II-5-W3-177-2015.pdf>
- Piva E., Begg D., Nanos N., Schofield E.** (2016), « Structural considerations in the conservation of the Tudor warship Mary Rose », dans *Proceedings of the 13th ICOM CC group on wet organic materials conference*, Florence, ICOM-CC, p. 347-353.

L'auteur

Amandine Colson doctorante, Musée national maritime d'Allemagne, Hans-Scharoun-Platz 1, 27568 Bremerhaven (Allemagne), acn.colson@gmail.com

LE CHALAND LSG4 : L'INTERDISCIPLINARITÉ POUR AUGMENTER ET RENOUVELER LA CONNAISSANCE

Marc Guyon, Laure Meunier

Résumé Le chaland a été découvert au cours d'une opération de fouille préventive en vue de la construction d'un parking souterrain en 2004, et il a été prélevé puis stocké douze ans dans un lac de la région lyonnaise. Après son arrivée à Grenoble pour les opérations de conservation, l'organisation du chantier a dû être changée pour un démantèlement complet du bateau à cause d'une importante présence de pyrite dans le bois. Ce démantèlement a été une occasion unique de collecter un maximum de données archéologiques. Pour y arriver, les plannings ont été organisés pour travailler en co-activité avec l'archéologue, et une équipe scientifique a été montée afin de croiser les différents points de vue et de réunir un maximum de données de toutes natures. Cette vision globale a également permis de prélever des matériaux en vue d'études scientifiques complémentaires, sans impacter les opérations de conservation ni le rendu final. À chaque étape de conservation, travailler ensemble a permis d'enregistrer de nouvelles données, pour prendre encore mieux soin du bateau. L'objectif principal de la stabilisation est d'essayer d'éviter le départ en acidification des bois du bateau.

Après plus de deux ans de collaboration, autant de questions ont été soulevées du côté archéologique que de celui de la restauration pour un enrichissement mutuel, une meilleure connaissance de l'objet. Les réponses seront données à la fin des études qui sont encore en cours.

Rappels sur la découverte

La découverte de cette épave de 28 mètres de longueur restituée, pour près de 5 mètres de large, faisait partie d'un groupe de six bateaux gallo-romains découverts lors de la fouille archéologique du parc Saint-Georges à Lyon, fouille conduite par l'INRAP en 2003-2004 sur prescription de l'État, et financée par la société d'économie mixte Lyon-Parc-Auto. Cette découverte, de très grande importance, qui a contribué à doubler le nombre de bateaux renseignés pour cette période en France, a permis de mieux comprendre la navigation fluviale à cette époque.

Pour être préservé et restitué au public, ce vestige de chaland (**fig. 1**) de 15 m de long et de 5 m de large, a été découpé en six sections lors du prélèvement *in situ* (en 2004), afin d'en permettre le transport. Il a été stocké dans un plan d'eau, en attendant un projet de restauration. C'est en 2013 que les conditions (lieu d'exposition, montage financier, programme d'études archéologiques...) ont été réunies pour que le département du Rhône lance le projet, destiné au musée gallo-romain de Lyon-Fourvière.



Cette décision a permis le renflouement du chaland fin janvier 2014, pour être acheminé à Grenoble, dans les locaux d'ARC-Nucléart, qui en assure le traitement et la restauration.

Figure 1 Épave du chaland Lyon Saint-Georges 4, *in situ*, dans le chantier. © Guyon, INRAP.

Planning de l'opération de conservation-restauration associée à l'étude archéologique du chaland LSG4

Après son arrivée à Grenoble pour les opérations de conservation, l'organisation du chantier a dû être changée pour un démantèlement complet du bateau à cause d'une importante présence de pyrite dans le bois. Ce démantèlement a été une occasion unique de collecter un maximum de données archéologiques. Pour y arriver, les plannings ont été organisés pour travailler en co-activité avec l'archéologue, et une équipe scientifique a été montée afin de croiser les différents points de vue et réunir un maximum de données de toutes natures.

À la suite du démantèlement et du nettoyage section par section, les éléments constitutifs du chaland (bordages de sole, membrures et bordés) ont été disposés et maintenus sur des

étagères en inox, afin de les traiter par imprégnation dans des solutions de polyéthylène glycol (PEG) pendant 8 mois minimum. Le séchage a ensuite été effectué par cycles successifs de 3 à 8 semaines (vu le volume de bois), par lyophilisation (**fig. 2**). Cette technique consiste à congeler à $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ sous vide les bois imprégnés de la solution de PEG, des sondes de température étant insérées dans les bois afin de suivre leur évolution en temps réel. Le phénomène de sublimation de la glace permet, en étant sous vide, d'absorber la pression partielle de vapeur se formant au-dessus de l'objet congelé, et ainsi de le sécher sans repasser en eau liquide, pour éviter de le déformer. L'ensemble des lyophilisations pour ce chaland a duré 18 mois sans interruption, en utilisant deux lyophilisateurs.



Figure 2 Lyophilisation d'une partie d'un bordé. © Guyon, INRAP.

Une fois le bois sec, des observations archéologiques ont permis de compléter les plans déjà publiés. La sole, une fois les nombreuses varangues retirées, a livré des informations précises et réelles qui n'étaient pas visibles avant démontage et traitement. Tous les éléments ont ainsi pu être observés sur toutes leurs faces.

Cette prise de données archéologiques s'effectue à plusieurs niveaux de précision et à différentes phases de la restauration, aussi bien dans l'acquisition que dans la restitution. Avant de réaliser un relevé, une préparation de l'élément est entreprise *a minima* par un assemblage des fragments et un nettoyage de surface. L'ensemble des positions et dimensions des bois sont enregistrées à l'échelle 1. Toutes les informations archéologiques sont relevées par transparence sur un film plastique selon un code colorimétrique (**fig. 3**). Une couverture photographique générale est réalisée, ainsi que des prises de vue de détails. Ce travail est effectué sur les deux faces des bordages de la sole. Cette technique reste efficace tant que les éléments sont plans, donc simples. Elle devient beaucoup plus complexe lorsque l'élément présente un volume. C'est le cas notamment du massif d'emplanture, des courbes et des bordés. Avec ce type d'éléments, il devient vite compliqué de réaliser un dessin en 2D. Pour cela, il a été décidé de sortir du relevé traditionnel pour une acquisition en photogrammétrie 3D.



Figure 3 Relevé archéologique, à l'échelle 1, sur film plastique. © Terpent, ARC-Nucléart.

Ce travail adapté permet d'obtenir des plans d'une grande précision, qui permettent un suivi de l'ensemble des phases de travail et un enregistrement facilité des opérations de restauration et de lecture archéologique en cours. Ils permettront aussi d'alimenter une base de données pour le suivi du bateau.

Lors de l'étude préliminaire de l'ensemble des épaves issues de la fouille du parc Saint-Georges à Lyon, le principe d'étanchéité avait été défini par un aménagement dans le can¹ des bordages de sole en V inversé avec ressaut, en partie inférieure (**fig. 4**) : celui-ci permettant le maintien du produit d'étanchéité sans avoir recours à un moyen complémentaire. Or, nous avons pu constater que cet aménagement n'est pas constant. L'absence de cet aménagement est donc, probablement, un marqueur de réfection de l'étanchéité du bateau : en effet, pour changer l'étanchéité, les charpentiers n'ont pas démonté le bateau. Lors du remplacement de la partie défectueuse, le ressaut inférieur du can disparaît. Ceci reste encore à démontrer. C'est uniquement en documentant exhaustivement et avec précision tous les cans des bordages de sole que les réfections par calfatage du chaland seront localisées.

Les bordages de sole possèdent de multiples chevilles visibles seulement si l'on y prête attention et bien souvent avec une loupe. Ces marqueurs ont été systématiquement relevés à toutes les phases de la restauration car elles sont peu visibles, et plusieurs passages sont nécessaires pour être sûr de les avoir toutes observées. Aucune de ces chevilles n'avait été observée lors de la fouille. Avant la lyophilisation, 308 chevilles ont été identifiées sur la face supérieure de la sole; après la lyophilisation, c'est un total de 485 chevilles qui ont été identifiées. L'identification de toutes ces chevilles permettra de préciser les étapes de

¹ Can : bord, tranche d'une planche dans le sens de sa longueur.

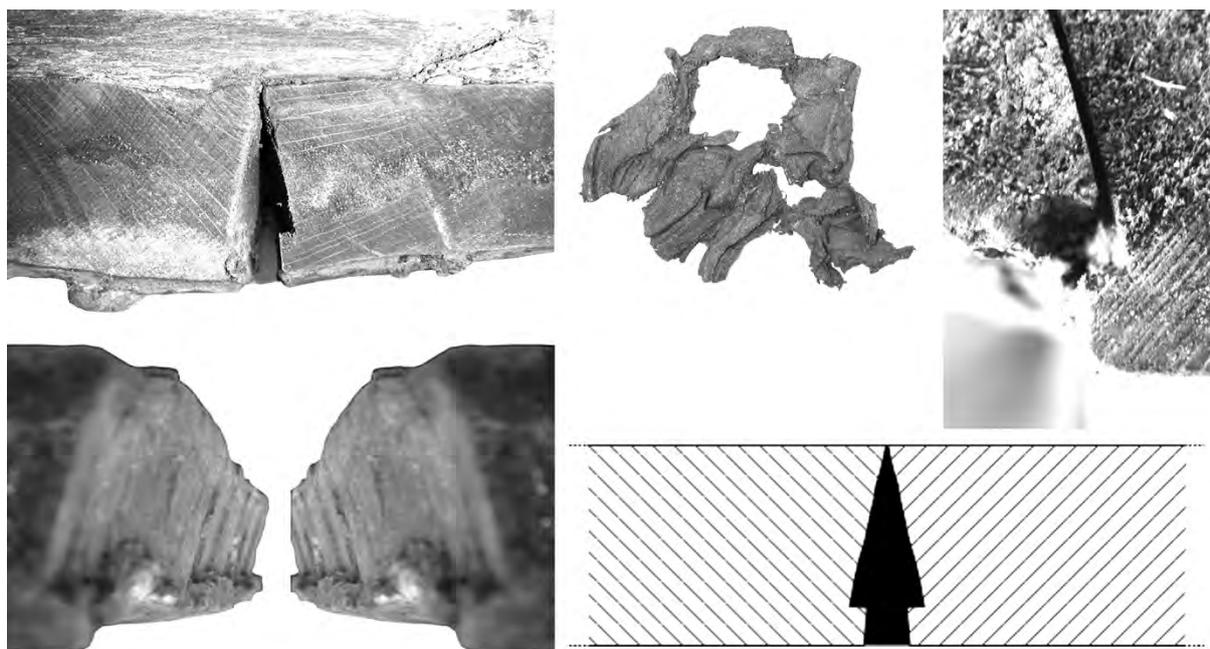


Figure 4 Profil des cans recevant l'étanchéité réalisé à partir de tissus poissés. © Guyon, INRAP.

positionnement des éléments de la sole lors de la construction du bateau. Elles renseignent aussi sur d'éventuels bois de récupération et sur les réparations effectuées au cours de l'utilisation du bateau.

La mise sur support du chaland a été préparée, après avoir effectué un curetage complémentaire dans les passages de clous (**fig. 5**). Un apprêt faisant office de tampon basique, à base de sébaçate de di-sodium a été ensuite appliqué (**fig. 6**). Les bordés qui s'étaient séparés lors du démantèlement ont été remontés à l'aide de goujons. La sole a été préparée en remontant chaque section sur trois plaques de polyéthylène (bâbord, axe et tribord), afin de manipuler de grands ensembles et de garder la position de remontage des bordages de sole par section (**fig. 7**).

Le plan du support a été conçu d'après le plan relevé il y a douze ans, notamment pour calculer l'angle de la relevée à l'avant du chaland. Ce plan a servi de base, et des gabarits de courbes ont permis d'ajuster l'angle des bordés. La difficulté résidait dans le changement de position du chaland : il présentait une torsion et un pendage dans la fouille, qui ont maintenant été totalement gommés, pour présenter l'embarcation en position de navigation (**fig. 8**). Les déformations dues à l'enfouissement n'ont pas pu être complètement rattrapées, mais le fait d'avoir intégralement démonté l'épave pièce par pièce et d'avoir une multitude d'éléments d'information a aidé à atteindre cet objectif de présentation. Par ailleurs, tous les éléments sont soclés individuellement, ce qui leur permet de travailler sans avoir d'influence sur les éléments voisins, ce qui signifie qu'il n'y aura aucune interaction physique entre les différents éléments. C'est l'assurance que le chaland gardera sa forme dans le temps. Cela permettra également de pouvoir plus facilement intervenir sur un seul élément en cas de problème de conservation.



Figure 5 Curetage d'un des fragments de la sole. © Guyon, INRAP.



Figure 6 Application de sébaçate dans les trous laissés par le passage de clou. ©Terpent, ARC-Nucléart.



Figure 7 Montage du support de présentation du chaland. © Terpent, ARC-Nucléart.

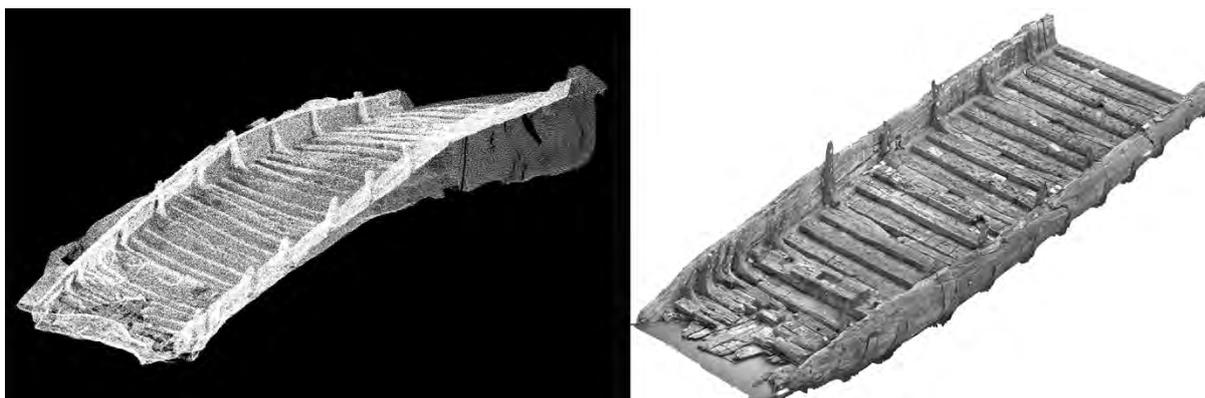


Figure 8 Modélisation 3D de l'épave *in situ* et remontée dans son support. © Guyon, INRAP

Le musée est en train de préparer l'arrivée du chaland en aménageant un espace dédié, avec des conditions de conservation strictes, qui devraient empêcher l'activation de la pyrite. C'est pourquoi un protocole de suivi est en cours d'élaboration, afin de pouvoir périodiquement faire des examens qui vont pouvoir renseigner l'état du chaland.

Cette vision globale a également permis de prélever des matériaux en vue d'études scientifiques complémentaires, sans impacter les opérations de conservation ni le rendu final. À chaque étape de conservation, travailler ensemble a permis d'enregistrer de nouvelles données, pour prendre encore mieux soin du bateau.

Un programme d'études sur les archéo-matériaux grâce à un mécénat de Lyon Parc Auto

Un vrai projet scientifique s'est développé autour de cette embarcation gallo-romaine du Bassin rhodanien. Les études sur les divers archéo-matériaux vont contribuer, très largement, au projet muséographique. Lyon Parc Auto accompagne l'INRAP dans la réalisation de ce programme d'études, mené en partenariat avec Lyon Métropole. Ce mécénat s'inscrit dans une politique active de Lyon Parc Auto en faveur du patrimoine lyonnais.

Cette restauration restera, probablement pour longtemps, une occasion unique de recueillir des informations archéologiques de toutes sortes, nécessaires à la compréhension des séquences de construction d'un bateau, de ses techniques de mise en œuvre et surtout de son entretien, dernier point important dans la compréhension de la durée d'utilisation d'un chaland.

L'expérience a montré que seules 25 % des données archéologiques sont accessibles sur le chantier de fouilles lorsque le bateau n'est pas démonté.

Bien évidemment, depuis le début de l'opération, l'archéo-dendrométrie n'est pas en reste. Avec près de 1000 fragments de bois représentant une surface voisine de 200 m², ces éléments permettront de connaître toutes les étapes de transformation du bois, du choix de l'arbre jusqu'à la mise en place des éléments constitutifs. La datation des différents éléments et des périodes de réfection effectuées au cours de son utilisation vont également pouvoir être renseignées.

La problématique de l'outillage et du travail préparatoire des pièces d'architecture doit aussi être abordée : c'est une phase importante pour la compréhension des séquences de construction. De nombreuses traces d'outils ont été vues et doivent être l'occasion, ici, de réaliser un corpus qui sera mis en connexion avec les outils de charpentier mis au jour lors de la fouille archéologique du parc Saint-Georges.

Un important corpus de tissus, sous forme de 26 mètres linaires de bourrelet d'étanchéité, a été prélevé. Il va permettre, après étude, de documenter et d'affiner notre connaissance sur la corporation des chiffonniers lyonnais qui, déjà sous l'Antiquité, recyclaient les tissus usagés. Parmi les 2100 clous retirés, 200 exemplaires vont être analysés finement, ainsi que les bandes de plomb ayant servi de réparation par palâtrage. Cette quantité offre un corpus permettant un débat sur la métallurgie. Les analyses doivent porter sur la qualité de la matière et l'état structural pour connaître la nature de l'alliage, l'état de traitement thermique, la mise en valeur des opérations de forgeage. Les impuretés métalliques vont livrer la signature chimique, déterminer la composition des inclusions et permettre de réaliser une corrélation avec les minerais de fer connus. Les clous fourniront des informations sur les étapes de leur fabrication ainsi que sur certaines réparations apportées à l'embarcation.

Conclusion

Après plus de deux ans de collaboration, autant de questions ont été soulevés du côté archéologique que de celui de la restauration pour un enrichissement mutuel et, surtout, pour une meilleure connaissance de l'objet, questions auxquelles l'ensemble des études permettra d'apporter des réponses passionnantes.

Les auteurs

Marc Guyon archéologue subaquatique, chargé d'opération et de recherche, direction et coordination de l'opération Lyon Saint-Georges 4 à l'Institut national de recherches archéologiques préventives, INRAP Rhône-Alpes – Auvergne, 12 rue Louis Maggiorini, 69500 BRON (France), UMR 7299 – Centre Camille Jullian – CNRS marc.guyon@inrap.fr

Laure Meunier restauratrice, ARC-Nucléart, CEA Grenoble, 17 rue des Martyrs, 38054 Grenoble cedex 9 (France), laure.meunier@cea.fr

LE CASQUE DE LA MALPENSA (LOMBARDIE) : BRONZIERS, RESTAURATEURS ET FORGERONS

Florence Caillaud, Alessandro Ervas

Résumé Un casque composite de l'âge du Bronze, mis en pièces et martelé par le bronzier de l'époque, a été redécouvert longtemps après la fouille, grâce à la collaboration entre archéologues, restaurateurs, dessinatrice, radiologue et forgeron. L'étude du casque part de la redécouverte et de la restauration de la calotte et des plaques repliées qui pourraient lui appartenir : c'est en particulier l'élaboration d'un modèle de ces dernières, mises à plat virtuellement grâce aux clichés radiographiques, qui a confirmé leur pertinence avec la calotte et suggéré un assemblage. Sur cette base, les mesures et les observations sur la technique de fabrication de l'original, ainsi que les analyses de sa composition et des traitements thermiques subis, ont permis de proposer une copie fiable et par ce biais d'acquérir des connaissances supplémentaires sur l'univers technologique de l'artisan de l'âge du Bronze qui a fabriqué ce casque « pas comme les autres ».



Figure 1 Le casque après la première restauration. © F. Caillaud.

Les cinq éléments du casque, repliés au marteau (**fig. 1**), furent trouvés en 1977 lors de la découverte fortuite, près de l'aéroport de Milan Malpensa, d'un dépôt de bronzier du XII^e s. av. J.C. contenant une trentaine d'objets et de fragments : haches, pointes de lance, faucille, tôles repliées, lingots, etc. Parmi les objets en tôle de bronze repliée, trois jambières décorées, d'un type à lacets appartenant à la civilisation des Champs d'urnes du bassin des

Carpates, de grande importance archéologique, ont été ouvertes sans documentation préalable par le découvreur (**fig. 2**).

L'objet le plus énigmatique du dépôt est une calotte conique avec huit languettes repliées à leur extrémité qui délimitent autant d'arcs. Comme les jambières, la calotte avait été repliée plusieurs fois pour obtenir un triangle compact; elle aussi a été ouverte sans documentation préalable (**fig. 3**).

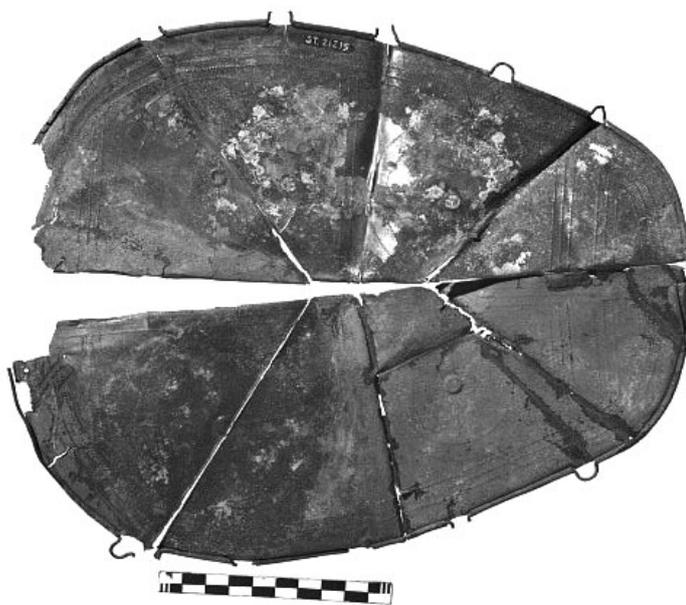


Figure 2 Une jambière après ouverture (1977).
© SABAP Lombardie occidentale.



Figure 3 La calotte avant ouverture (1977). © SABAP Lombardie occidentale.

La restauration

Le casque suit le destin des jambières, confiées en 1980 à un restaurateur de Milan, le Studio Formica, qui les remet en forme, colle les fragments et fixe les jambières sur Plexiglass®. Cette opération lourde provoque des déformations et la perte de fragments à cause des fortes pressions exercées.

Le casque replié est lui aussi remis en forme et remonté. L'épaisseur du bronze, d'environ 0,8 mm, a rendu l'opération encore plus difficile et a provoqué la perte de fragments, l'écrasement des reliefs originaux et la perte de définition des détails.

Très vite, la calotte est associée par les archéologues aux plaques repliées, mais l'identification du casque reste problématique; par la suite la calotte et les plaques prennent des chemins différents... Les quatre plaques repliées, nettement plus épaisses que les autres tôles (1-1,2 mm) n'ont été ni ouvertes, ni restaurées... ni étudiées.

En 2010, je suis appelée à constater l'état de conservation des objets en tôle de bronze du dépôt. Les restaurations précédentes sont très dégradées et les jambières en mauvais état, alors que la calotte à languettes est fragmentée mais sans apparente perte d'éléments (**fig. 4**).



Figure 4 La calotte en 2010. © SABAP Lombardie occidentale.

La révision des objets de la Malpensa permet d'affronter la question non résolue du rapport entre la calotte et les plaques du casque. C'est une intervention très simple qui permet cependant des observations détaillées, point de départ d'une recherche pluridisciplinaire pour mieux comprendre un objet qui n'a pas de comparaison connue.

La re-restauration de la calotte consiste en l'élimination des vieux adhésifs, le nettoyage, la protection, le remontage avec l'adhésif époxy, le doublage au papier japon des zones fragiles et les comblements de consolidation à l'époxy. Celle des plaques comprend le nettoyage des surfaces, le collage d'un fragment fracturé (sans doute pendant un essai d'ouverture) et la réalisation de petits comblements.

Un montage sur support en Plexiglass® permet de positionner la calotte sans peser sur les languettes, très fragiles à cause de leur finesse et des pliures et ruptures subies lors du martelage antique mais surtout de la remise en forme moderne (fig. 5).



Figure 5 La calotte et son support. © F. Caillaud.

Les radiographies ¹ des plaques repliées, indispensables à leur compréhension, en révèlent la forme et les détails fonctionnels : contours, profils des zones bombées, position des perforations de fixation (fig. 6).

Leur interprétation permet de mettre à plat virtuellement les plaques et d'élaborer une restitution graphique ² : les plaques composent une ou deux grandes bandes à arcades bombées et profilées, avec deux perforations verticales à la base d'une arcade sur deux et six perforations horizontales sur le bord vertical conservé (fig. 7).

Une ébauche de restitution tridimensionnelle des plaques en carton confirme l'hypothèse des huit arcades, qui correspondent aux espaces entre les languettes de la calotte (fig. 8).

¹ Les radiographies ont été réalisées par Luciano Senna, du laboratoire REMET, Bologna.

² Avec la collaboration de la dessinatrice Anna Maria Monaco, Bologna.

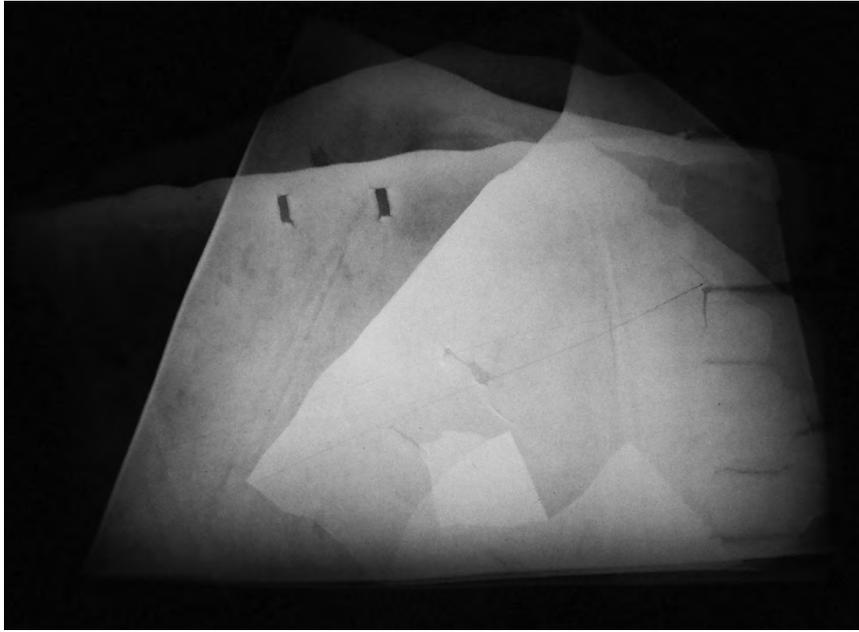
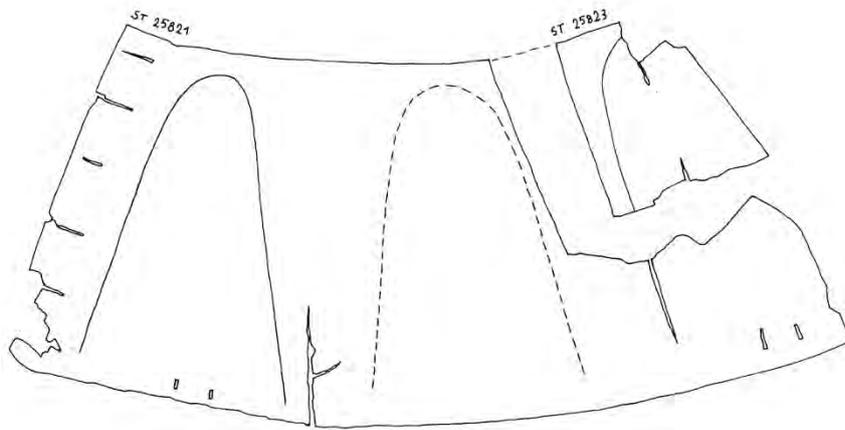


Figure 6 Radiographie d'une plaque. © F. Caillaud.



RIPOSTIGLIO MALPENSA (VA)
SVILUPPO LAMINE BRONZEE (A.H.H.)

Figure 7 Restitution graphique de la bande intérieure. © F. Caillaud.



Figure 8 Restitution tridimensionnelle de la bande intérieure. © F. Caillaud.

La reconstitution : observations préliminaires

Quelle était la forme originale du casque? Quel rôle a la mise en forme sur son aspect? Quels éléments ont déterminé sa forme exacte? Quels étaient les outils et les techniques utilisés? Comment a été réalisée la bande à arcades bombées? Comment a été réalisée la finition? Autant de questions auxquelles la reconstitution peut répondre.

Les observations préliminaires de la calotte ont montré que les languettes étaient différenciées et arrondies dès le début, et non pas découpées à la fin du travail. La surface est très polie et pratiquement sans trace d'outil; la technique de dinanderie utilisée pour la mise en forme est la rétreinte.

La forme originale était une sorte d'étoile à huit branches et la direction de chaque languette est liée à la mise en forme du métal avec un caractère aléatoire. La constatation de l'irrégularité de la forme a compliqué la compréhension de la géométrie originale : comment déterminer l'axe correct pour donner une forme logique au casque?

L'examen des languettes a montré que chacune était repliée avec un angle propre par rapport à l'axe. Il ne s'agit pas de déformation, mais de construction : l'angle de pliage suit la base du casque. Ainsi, la restitution sur papier de chaque arc avec sa languette donne le développement de la partie intérieure et la position correcte de chaque languette dans l'espace (**fig. 9**).



Figure 9 Maquette de la bande intérieure. © A. Ervas.

L'observation des plaques donne d'autres informations sur la forme originale du casque : chaque arcade est contournée sur la tôle à l'aide d'un burin et les bords inférieurs et supérieurs sont laissés bruts de forge. Il s'agit d'un lingot martelé et non pas d'une tôle découpée. On observe aussi des déformations localisées entre les arcades : le métal à l'origine était légèrement bombé vers l'extérieur.

Une autre particularité concerne les perforations rectangulaires de fixation réalisées avec un burin au fil asymétrique qui ne découpe pas complètement le métal mais laisse une petite bande sur le côté longitudinal de la perforation, créant un petit relief sur le côté intérieur.

Les analyses³ sur la calotte et sur les plaques ont été effectuées par XRF portable et par analyse SEM-EDS sur un échantillon prélevé sur le bord de la fracture sur la calotte, ce qui a permis de connaître son histoire thermo-mécanique : le lingot initial de la calotte a été déformé d'environ 84 % sur son épaisseur initiale et l'alliage contient environ 11 % d'étain. Les plaques sont en bronze à 9 % d'étain avec une déformation du lingot initial de 90 %.

La reconstitution

Avant toute autre opération, le dessin précis sur papier de la bande intérieure, basé sur les radiographies, est fondamental pour définir la forme exacte du casque.

Les phases du travail :

- La tôle de la calotte a été découpée en forme d'étoile (**fig. 10**) en laissant les languettes plus larges pour permettre, à la fin du travail, d'obtenir la forme exacte de l'original, mais aussi de vérifier l'hypothèse initiale et de comparer les arcs obtenus avec les originaux.

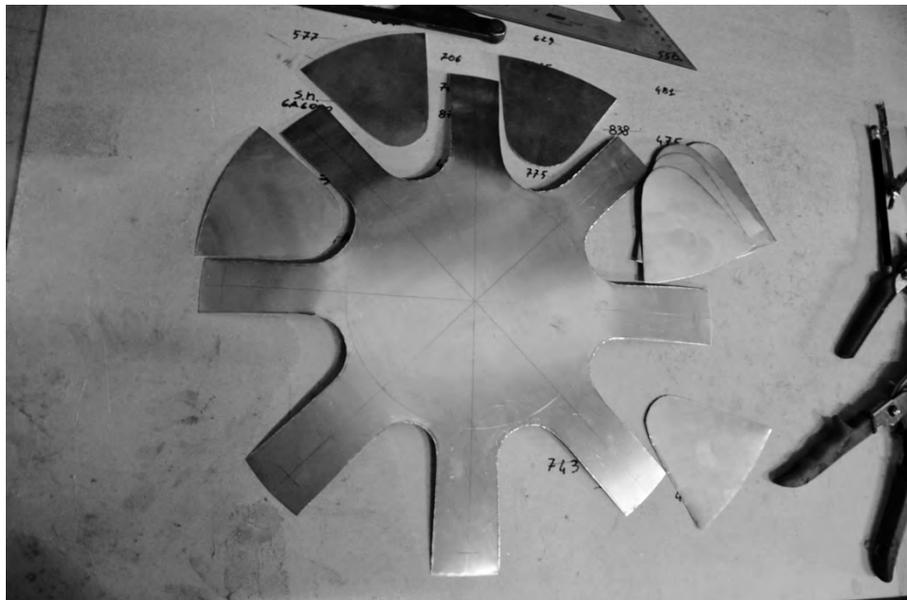


Figure 10 Début de la calotte à partir d'une tôle plate. © A. Ervas.

- Pour la mise en forme, j'ai utilisé différentes enclumes et un marteau légèrement bombé pour limiter les traces en surface. Pour obtenir la forme définitive, douze passes de martelage et autant de recuits ont été nécessaires (**fig. 11**).
- À la fin du martelage, la forme des arcades a confirmé l'hypothèse initiale. Les formes des languettes sont déterminées par la technique de mise en forme. La forme du casque est donc la conséquence d'un projet initial, et, une fois déterminée la forme de la tôle, il n'y a pas eu d'autre intervention que la mise en forme au marteau (**fig. 12**).

³ Les analyses et examens ont été conduits par Marianne Moedlinger, DCCI - Università di Genova



Figure 11 La calotte au deuxième passage. © A. Ervas.



Figure 12 Détail d'une arcade de la calotte. © A. Ervas.

Pour la reconstitution, les bandes ont été découpées avec de la marge pour obtenir une copie exacte du casque, impossible à réaliser autrement à cause du caractère aléatoire imposé par la technique : on peut obtenir une forme semblable mais pas exactement la même !

Un des problèmes des reproductions faites à partir des tôles modernes est lié à leur surface lisse d'aspect mécanique, qui perturbe la lecture de la forme. Pour l'éviter, la bande intérieure a été découpée à partir d'une tôle plus épaisse, martelée pour avoir l'épaisseur correcte et un aspect plus vraisemblable.

Une fois reportées les arcades de la calotte sur la bande intérieure, le relief a été réalisé avec une technique expérimentale étudiée sur la Cista di Appiano (Musée archéologique de Bolzano, Alto-Adige). Ce système permet de travailler sur le devant et de bomber les volumes par

déformation du métal grâce à la forme des burins et au type de martelage. Il permet ainsi de travailler sur une forme fermée et d'y réaliser des reliefs sans opérer de l'intérieur (**fig. 13**).

Une fois terminée la bande intérieure, la calotte lui a été superposée et les extrémités des languettes ont été repliées à l'intérieur de la bande pour bloquer l'assemblage.

Le polissage de la surface a été fait au chiffon en cuir avec de la poudre de pierre ponce dans l'eau, ensuite patinée naturellement à l'air avant la protection finale avec la cire microcristalline (**fig. 14**).



Figure 13 Détail des outils, avec un percuteur en bois pour bomber le métal.
© A. Ervas.



Figure 14 Le casque composite assemblé et fini. © A. Ervas.

Les photographies de détail montrent les parties bombées (fig. 15) et l'intérieur du casque terminé (fig. 16); les perforations et les extrémités des languettes repliées sont bien visibles.



Figure 15 Détail du casque avec le relief bombé de la bande intérieure. © A. Ervas.



Figure 16 Détail de l'intérieur du casque. © A. Ervas.

Conclusion

La synergie entre les acteurs de l'étude – archéologues, restaurateurs, dessinateurs, radiologues, analyste et forgeron/dinandier – a permis une compréhension plus fine de l'objet. L'observation des détails, prérogative de la restauration, a fourni des informations complémentaires sur la fabrication, l'usage et la destruction de ce casque :

- les bords du trou de fixation du cimier au sommet du casque ne présentent pas de trace de soudure ni de coulée secondaire : il s'agit donc d'un assemblage mécanique, avec un cimier qui probablement n'était pas en métal...;
- la différence des produits de corrosion entre zones recouvertes ou non des plaques indique un montage permanent, ou du moins durable, et la présence d'une réparation (trou de fixation sur languette incomplète) suggère un usage prolongé du casque avant sa destruction et thésaurisation.

La reconstitution a permis de restituer sa forme et de tester son usage possible, mais aussi de pratiquer des techniques de travail millénaires qui méritent d'être soutenues sur le plan culturel, historique et technologique, tout autant que les objets qu'elles ont permis de réaliser.

Références bibliographiques

Mira Bonomi A. (1979), « I recenti rinvenimenti del Bronzo finale alla Malpensa nella Lombardia occidentale », dans *Il Bronzo finale in Italia*, Atti della XXI riunione scientifica Firenze, 21-23 ottobre 1997, Firenze, Istituto italiano di preistoria e protohistoria, p. 117-144.

De Marinis C.R. (2009), « Il ripostiglio della Malpensa (Somma Lombardo, VA) », dans *Alle origini di Varese e del suo territorio. Le collezioni del sistema archeologico provinciale*, Roma, L'Emma di Breitschnieder, p. 146-145.

Caillaud F. (2013), « Il restauro degli schinieri », dans Grassi B. *I signori della brughiera- il territorio della Malpensa tra XII^e IX^e sec. a. C.* Catalogo de la mostra, Arsago Seprio, Museo archeologico di Arsago Seprio (VA), p. 6-10.

Gambari F., Grassi B., Ruggiero G. (2016), « Nuovi dati sul ripostiglio della Malpensa », *Ziku*, vol II, Sesto Calende (VA), p. 161-196.

Les auteurs

Florence Caillaud Laboratorio di restauro, Via del Pratello 65, 40122 Bologna, Italie, f.caillaud@libero.it

Alessandro Ervas, Fucina Ervas Via Taliercio 45, 31022 Preganziol (TV), Italie, alervas@tin.it

DÉ-RESTAURATION DE HUIT RELIEFS DE LA FRISE DES CENTAURES DU THÉÂTRE D'ORANGE, MUSÉE D'ART ET D'HISTOIRE, 2014-2016

Emmanuel Desroches

Résumé La dé-restauration de huit reliefs de la frise des Centaures que nous avons menée a été suscitée par la recherche archéologique sur le théâtre antique d'Orange, renouvelée depuis vingt ans. Bien que nous l'ayons préparé par une étude préalable, notre entreprise de dé-restauration se révèle difficile et ne peut satisfaire tous les objectifs prévus. Elle permet néanmoins d'atteindre les buts principaux : connaître en détail, stabiliser et éliminer les restitutions des reliefs, qui peuvent ainsi devenir l'objet d'une étude archéologique exhaustive. La compréhension matérielle de leur restauration, qui remonte à 1931, réalisée alors avec une approche et des méthodes qui n'ont plus cours aujourd'hui, permet un regard rétrospectif sur notre métier.

L'étude archéologique du théâtre antique d'Orange, dont les débuts sont du XIX^e siècle (Caristie, 1856; Roumégous, 2009), est reprise en 1998. Un programme concerté de recherche (PCR) mené par Jean-Charles Moretti, Alain Badie puis Dominique Tardy, de l'Institut de recherche sur l'architecture antique (IRAA, CNRS), bientôt rejoints par l'équipe d'Emmanuelle Rosso (université de Paris IV) permet de poursuivre ces travaux.

Les archéologues sont au centre du projet de restauration de la frise: ils m'ont contacté dans le but de sauver ces documents en piteux état, et ils en bénéficient pour l'étude du décor du mur de scène.

Une frise unique et trois destins

Quelques éléments de la frise des Centaures sont connus depuis le XIX^e siècle. Dès leur découverte, ils sont attribués au registre central du mur de scène. La fouille de la fosse du rideau de scène par Jules Formigé, architecte en chef des monuments historiques et archéologue, met au jour en 1930 une partie importante de cette frise. Huit reliefs sont reconstitués et fixés sur le mur, au-dessus de la « porte royale¹ », dès l'année suivante. Soixante-cinq ans plus tard, très altérés et menaçant ruine, ils sont déposés, mis en caisse et stockés dans une réserve du musée. Entre 1949 et 1951 d'autres éléments de la même frise sont découverts et, après étude, ils sont remontés au musée en 1988 par les Ateliers Mérindol (*Centaures*, 1988). Cette série de sculptures se trouve ainsi dissociée en sous-ensembles au gré des découvertes : quelques éléments « bruts de fouille » en réserve et deux groupes de fragments réunis à la

¹ Porte centrale du mur de scène.

favorable de deux restaurations successives. C'est sur les huit reliefs restaurés en 1931 que se sont portés nos soins.



Figure 1 Carottage d'un goujon liant un fragment antique à une plaque de fond moderne: exemple de collaboration. © E. Desroches.

Les reliefs datent de la création du théâtre, d'époque augustéenne, et sont de style néo-attique (Badie *et al.* 2011). On évalue à trois cent cinquante les fragments attribuables aux cinq frises qui ornaient le mur de scène du théâtre, dont celle des centaures. Les reliefs sont en marbre de Carrare² et, dans la forme que leur a donnée la restauration de 1931, ils mesurent approximativement 76 × 74 × 20 cm.

Alors qu'il nous est demandé en 2013 de restaurer les huit reliefs, notre projet va se structurer en trois volets :

- un constat d'état, pour faire connaissance avec la collection et proposer des pistes pour sa restauration.

À la suite des résultats obtenus, il est décidé de

- consolider et stabiliser les sculptures;
- et libérer les fragments du remontage 1931 pour permettre leur étude. En effet, l'étude des sculptures par E. Rosso passe par l'observation de chaque morceau et son relevé tridimensionnel.

Enfin, à l'issue des travaux, l'intégration de ces œuvres aux collections du musée devient envisageable.

² Analyse Fabrizio Antonelli et Lorenzo Lazzarini (Antonelli, 2002)

Le constat d'état, ou comment comprendre nos aînés

La première phase, le constat d'état, nous permet d'évaluer la cohérence archéologique des panneaux de 1931, car certaines associations de fragments semblent arbitraires, ce qui pourrait justifier leur dissociation, de définir le mode de remontage qui a été réalisé alors, d'estimer l'état d'altération des matériaux et de leur assemblage, d'évaluer le travail de consolidation et de dé-restauration³ et d'en chiffrer le coût.

Les fiches que nous rédigeons sont illustrées à l'aide de deux relevés par relief : les raccords entre fragments originaux et l'état d'altération des surfaces.



Figure 2 Relevé de cohérence du relief CC. Doté de deux offrandes alors que chaque centaure n'en apporte qu'une, le relief est suspect. Dessin A. Wallon.

Nous employons un détecteur de métaux⁴ pour repérer les armatures métalliques invisibles, lors du constat d'état puis au fur et à mesure de l'avancée du démontage, car il n'est pas possible de radiographier la frise au CICRP pendant le temps du chantier. Notre évaluation préliminaire se révèle largement en deçà de la quantité de métaux effectivement présents.

³ Sur les aspects théoriques de l'acte de dé-restauration, on se reportera avec profit à Tollon, 1995.

⁴ Détecteur de métaux magnétique Garrett ACE 150



Figure 3 Démontage du ciment liant un relief au ciseau pneumatique. En bas, la plaque de doublage, au milieu, des fragments de marbre dont certains antiques (moulurés) en remploi, en haut le relief sculpté.
© E. Desroches

La restauration, documentée par de rares et précieux clichés avant restauration, a consisté à assembler les morceaux entre eux et à les ficher sur une plaque de marbre de fond à l'aide de tiges en métal (goujons) et de coulis de ciment. Les joints sont assurés par différents mortiers de ciment. Sans doute par souci de préservation des marbres antiques, les goujons employés pour les relier ensemble sont en alliage cuivreux, mais ceux mis en œuvre pour fixer les restitutions rapportées autour sont en fer. Dans un même esprit, les faces des cassures sont intactes à l'intérieur d'un groupe de fragments mais localement bûchées en périphérie pour favoriser l'adhésion du mortier. Ce bûchage pourrait compromettre le rapprochement de nouveaux raccords. Les compléments sont des morceaux de marbres, dont certains ont été taillés dans des morceaux antiques⁵, sans doute prélevés dans la masse des débris disponibles dans le théâtre.

Par souci de lisibilité des restitutions, les parties lacunaires des centaures (patte, arrière-train) sont parfois restituées par un contour et piquetage... lequel peut avoir été pratiqué sur une partie du relief antique!

La valeur scientifique de la restauration de 1931 tient à la méthode employée (étude assez rigoureuse à partir d'un puzzle des éclats⁶, documentation photographique, déduction de l'emplacement des sculptures à partir d'un plan du mur de scène...).

⁵ Le revers, noyé dans le ciment, est parfois mouluré.

⁶ Rigueur de la démarche limitée puisque des fragments d'origines différentes ont été assemblés. La restauration

En revanche, dans la restauration proprement dite, il règne une certaine confusion théorique, qui mélange lisibilité et limite de l'intervention avec la modification irréversible de l'original, raccord de morceaux d'origine diverses, juxtaposition de matériaux stables et de métaux corrodables...

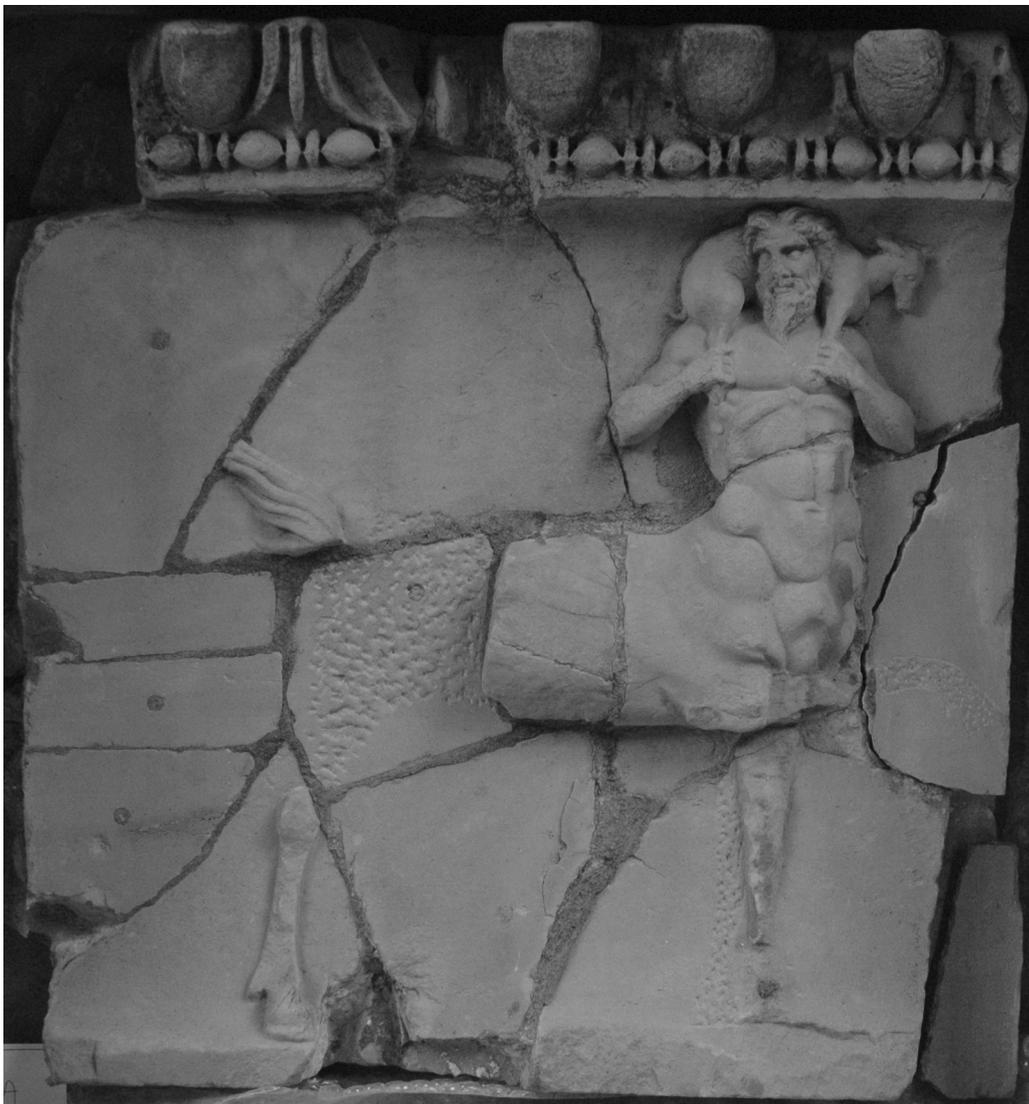


Figure 4 Relief CA. Manque de rigueur dans la restauration 1931: des lacunes sont restituées par piquetage, dont deux pattes avant, trois avec celle subsistante, gravées sur l'original. © E. Desroches.

Cette restauration, conjuguant ciment et métal, rappelle l'assemblage de blocs, à la cassure profondément évidée pour être collée au mortier de ciment et parfois renforcé latéralement par des crampons en fer, lors des travaux de Henri Chevrier, architecte à Karnak en Egypte⁷ à la même époque que Jules Formigé à Orange, assemblage que j'ai naguère tenté de reprendre (Abd el Hamid *et al.*, 1985).

semble tirillée entre deux valeurs: raccords objectifs (scientifique) et restitution d'ensembles complets (esthétique).

⁷ De 1926 à 1954 (Le Fur, 1995 et Grimal, 2001).



Figure 5 Collage au ciment d'un bloc à l'époque d'Henri Chevrier, Karnak. © E. Desroches.

Explosés parce que exposés

Fragmentés avant enfouissement et peut-être déjà érodés, les reliefs sont à nouveau exposés aux facteurs d'altération par leur présentation sur le mur de scène en 1931, à la pluie, et aux agents véhiculés par l'eau, la pollution notamment.



Figure 6 Découpe du ciment à la disqueuse. © E. Desroches.

Cela a pour conséquence la pulvérisation de certaines parties du marbre, la desquamation ou le feuilletage de certaines zones, les veines micacées notamment, la formation de dépôts noirs comme les croûtes noires à l'abri de la pluie (dépôts de suies issues de la pollution aérienne [Lefevre, 1992]), ou des dépôts d'algues également noirs sur les mortiers et sur les reliefs, la fissuration de certains fragments sous l'action de la corrosion des armatures métalliques ou la perte de cohésion des joints au ciment et, par là, de l'ensemble des remontages. Les phénomènes semblent toutefois arrêtés dans le dépôt, avant notre intervention: nous ne constatons pas la présence d'amas de poudre ou de fissuration en cours.

Nous passons à l'action...

Le marbre, là où il est pulvérulent ou fragile, est préalablement consolidé⁸. À l'issue du traitement, il est à nouveau consolidé. La majeure partie du marbre est toutefois assez cohérente. En prévision de l'étude des sculptures, les morceaux et fragments sont numérotés avant démontage puis au cours de celui-ci. Trois caisses de fragments remplacent ainsi progressivement un relief.

Il faut détacher le marbre antique de la plaque de fond, le dégager du ciment très dur qui l'enveloppe, trancher les goujons métalliques. Favorisée par l'altération des mortiers, l'interface entre mortier et marbre est assez facile à dégager. Le but est atteint à l'aide d'une palette d'outils : le ciment est tronçonné en lamelles à la meuleuse d'angle et au micro-moteur à disque diamanté, taillé au ciseau à main et au ciseau pneumatique pour les parties inaccessibles à l'outil manuel, « grignoté » au vibro-inciseur pneumatique pour les dégagements les plus fins. Les recouvrements les plus minces sont éliminés par micro-sablage.

Les goujons de métal sont coupés transversalement à la scie à main, à la scie-sabre, à la disceuse ou à la scie diamantée, voire sectionnés par forage transversal à la perceuse. Parfois, si le goujon est unique et si le marbre est cohérent, il est possible de démonter l'assemblage par rotation du fragment.

Le relief est disposé alternativement couché (pour ne pas mettre en péril les joints par vibration ou par flexion), ou à la verticale pour avoir également accès au revers. L'emploi des outils électriques, très efficaces et dangereux, souvent employés en force à proximité du marbre, exigent un contrôle soutenu. Ce travail est physique et stressant, pénibilité que la solidarité de notre trio de restaurateurs nous permet de surmonter.

Mais certains assemblages se révèlent impossibles à désolidariser : nous sommes incapables de couper un goujon perdu⁹ dans un joint sinueux de 1 à 2 mm d'épaisseur. Étant donné que les goujons dans les parties originales ne menacent pas le marbre par leur éventuelle corrosion puisqu'ils sont en alliage cuivreux, et que les assemblages fins, sans doute plus épais que ce que nous pourrions faire, sont néanmoins acceptables du point de vue de la fidélité à l'original, nous relativisons cette impasse. Les éclats détachés sont recollés au PMMA, adhésif permettant la réversibilité.

⁸ Silicate élastifié conseillé par P. Bromblet (ICR pour le World Monuments Fund, 2012), appliqué par aspersion.

⁹ Goujon dont les mortaises sont sans accès extérieur (Martin, 1965, p. 296).



Figure 7 Le relief CB avant intervention : état d'altération maximal. © E. Desroches.

Un relief parmi les huit, le premier que nous ayons vu et qui est dans le pire état, échappe au sort commun. Il serait techniquement difficile de le dé-restaurer, pour un gain de connaissance assez faible : la majorité du relief n'est pas antique et de larges portions originales ont disparu lors de l'exposition en extérieur. La conservatrice fait alors le choix de le conserver dans l'état hérité de 1931. Il est démonté pour moitié; le mille-feuille de marbre altéré, entremêlé d'algues et de terre infiltrée, « farci » de goujons en fer et de lits de ciment est consolidé, nettoyé et recollé, des joints refaits au mortier de chaux.

Apport à l'étude archéologique

Dès le constat d'état, nous repérons de nombreuses traces d'un évènement que le revers et les tranches des reliefs, invisibles auparavant, nous confirment au démontage: dans l'Antiquité, la frise a été brisée puis soigneusement réassemblée¹⁰. Cela corrobore les remarques réalisées sur d'autres parties du décor du mur de scène, qui auraient été victimes d'un effondrement de la toiture puis remontées et mises au goût du jour (Badie *et al.*, 2007, p. 33).

¹⁰ Fixation de restitutions de pattes de centaures cassées, dont ne subsistent que les goujons en fer; large assemblage sur une cassure préalablement retaillée d'une probable restitution, par des goujons insérés dans les faces de cassure et des agrafes au revers. Les éléments en fer sont scellés, quand on a pu le retrouver, au plomb fondu.

La frise des Centaures illustre ainsi plusieurs pages de l'histoire de la restauration: réparation antique, restauration en 1931, dé-restauration en 2015, nouvelle restauration à venir?



Figure 8 Trace d'une restauration antique, deux agrafes en fer scellées au plomb au revers d'un centaure. © E. Desroches.

Conclusion

Il est possible de reprendre une ancienne restauration au ciment et métal, mais c'est « un combat » et il faut une solide motivation, que la collaboration avec les archéologues et la conservatrice du musée ont rendu possible.

Des limites bornent l'intervention; elles sont difficiles à évaluer au préalable, même après un constat d'état. Les interventions de restauration, sensiblement contemporaines, réalisées sous la direction de Jules Formigé ou d'Henri Chevrier, pourraient servir de jalons matériels pour une histoire des restaurations au ciment, critiquables (Honeyborn, 1998, p. 170; Perrier, 2004, p. 641), maladroitement et faisant appel à une technologie lourde et difficile. Elles pourraient surtout devenir des repères dans leurs objectifs, la recherche d'une restauration rigoureuse, étroitement liée à l'exploration archéologique et destinée à la valorisation de celle-ci.

Produits employés

PMMA : Plexigum® N 80 (devenu Degalan® 80), Rhöm & Haas
Silicate élastifié : Funcosil® 500 STE, Remmers

Références bibliographiques

Abd el Hamid S., Desroches E., Vergnieux R. (1985), « Aménagement et rénovation d'un ancien magasin archéologique de Karnak : le Cheikh Labib », *Cahiers de Karnak*, n° 8, p. 369-379.

Antonelli F., Lazzarini L. (2002), « Analyse des marbres d'Orange », dans *ASMOSIA VI, Venice, June 15-18, 2000*, Padova, Bottega d'Erasmus Aldo Ausilio Editore, p. 265-270.

Badie A., Moretti J.-C., Tardy D. (2007), « Pouvoir du théâtre et théâtre du pouvoir », *Archéopages*, n° 19, août 2007.

Badie A., Moretti J.-C., Rosso E., Tardy D. (2011), « L'ornementation de la *frons scenae* du théâtre d'Orange. L'élévation de la zone centrale », dans Nogales T., Roda I. (eds), *Roma y las provincias : modelos y difusión*, L'Erma di Bretschneider, p. 193-202.

Caristie A., (1856), *Monuments antiques à Orange. Arc de triomphe et théâtre*, Paris, Firmin-Didot.

Centaures, catalogue d'exposition, Musée municipal d'Orange, juillet/août 1988, Avignon, impr. Laffont.

Grimal N. (2001), « La mission permanente de Karnak », *La revue pour l'histoire du CNRS*, vol. 5, p. 36-45.

Honeyborne D. B. (1998), « Weathering and decay of masonry », dans Ashurts J., Dimes F.G., *Conservation of building decorative stone*, Oxford, Butterworth.

Integrated conservation resources (ICR-ICC) (2012), *Laboratory evaluation of marble consolidation, Saint Trophime cloister*, Arles, World monuments fund.

Lefevre R.-A. (1992), « Les effets de la pollution atmosphérique », dans Collectif, *La conservation de la pierre monumentale*, Paris, CNRS.

Lefur D. (1995), « Les temples de Karnak, un chantier perpétuel », dans *Restauration, dé-restauration, re-restauration*, actes du 4^e colloque de l'ARAAFU (Paris, 5-7 octobre 1995), Paris, ARAAFU, p. 183-192.

Martin R. (1965), *Manuel d'architecture grecque I Matériaux et techniques*, Paris, Picard.

Perrier R. (2004), *Les roches ornementales*, Ternay, Ed. Pro Roc.

Roumégous A. (2009), *Carte archéologique de la Gaule (CAG) 84/3 Orange et le Vaucluse Rhodanien*, Académie des inscriptions et belles lettres, Paris, Ed. De Boccard.

Tollon F. (1995), « Quelques questions sur la dé-restauration », dans *Restauration, dé-restauration, re-restauration*, actes du 4^e colloque de l'ARAAFU (Paris, 5-7 octobre 1995), Paris, ARAAFU, p. 9-16.

L'auteur

Emmanuel Desroches restaurateur de sculptures indépendant, 7 rue Rachais 69003 Lyon
emmanueldesroches@orange.fr

Travaux réalisés par trois restaurateurs de sculptures indépendants, Emmanuel Desroches, Alessandro Ingoglia et Alice Wallon, sous la supervision de Cécile Varéon, conservatrice, en collaboration avec Philippe Bromblet, ingénieur au Centre interdisciplinaire de conservation et restauration du patrimoine (CICRP) et Emmanuelle Rosso, maître de conférences en Histoire de l'Art romain, université de Paris Sorbonne-Paris IV-Institut universitaire de France.

LA NÉCROPOLE GAULOISE DE BOBIGNY (SEINE-SAINT-DENIS), UNE ÉTUDE EN COURS : APPORT DE LA CONSERVATION-RESTAURATION À LA CONNAISSANCE DU MOBILIER MÉTALLIQUE ET DE SON ENVIRONNEMENT

Hélène Huysseune, Raphaëlle Chevalier, avec la collaboration de Stéphane Marion, Jenny Kaurin, Cyrille Le Forestier et Micheline Kérien

Résumé Plusieurs années après sa découverte en 2002, la nécropole gauloise mise au jour sur le site de l'hôpital Avicenne de Bobigny (93) et son important mobilier sont à nouveau étudiés par une équipe de spécialistes. Révélé lors d'une opération d'archéologie préventive d'envergure, le site reste inédit en raison de son ampleur et des éclairages nouveaux qu'il offre à la connaissance des sociétés du deuxième âge du Fer dans le Bassin parisien. Son caractère atypique se reflète également dans l'organisation de son étude, de la fouille exceptionnelle aux travaux actuels menés en vue de la publication prochaine de sa monographie.

Dans le cadre de la reprise de la collecte d'informations matérielles associée à cette publication, deux conservateurs-restaurateurs ont été associés à l'étude du mobilier métallique. Composant avec diverses contraintes, un protocole d'étude des objets a été établi avec les archéologues selon des choix précis, afin de permettre l'échange permanent entre les différents spécialistes du mobilier. L'interprétation des éléments matériels, mais aussi de l'environnement direct des pièces dans la structure archéologique (grâce à l'étude des restes organiques minéralisés notamment), sont directement discutées entre professionnels : archéologues et conservateurs-restaurateurs travaillent ainsi ensemble à l'établissement de la chrono-typologie du mobilier métallique et, plus largement, à l'étude globale du site.

La nécropole gauloise de Bobigny a été révélée en 2002-2003 lors d'une opération d'archéologie préventive menée par l'INRAP et le conseil général de la Seine-Saint-Denis. S'inscrivant dans le cadre du réaménagement de l'hôpital Avicenne (Assistance publique - Hôpitaux de Paris), la fouille, initialement prévue pour quelques semaines, fut prolongée d'un an face à l'ampleur de la découverte : la mise au jour de plus de 500 structures funéraires réparties sur un terrain d'emprise limitée (450 m²) (**fig. 1**).

Le site se démarque des autres exemples connus pour le III^e s. avant J.-C. (La Tène B2-La Tène C1), dans le Bassin parisien comme à l'échelle européenne : le nombre de sépultures, leur organisation, la présence de nombreux enfants parmi les défunts, les rares incinérations (alors qu'elles tendent à se généraliser à cette époque), ainsi que les rares tombes d'hommes en armes dénombrées, marquent notamment cette singularité (**fig. 2**; Marion *et al.*, 2007).

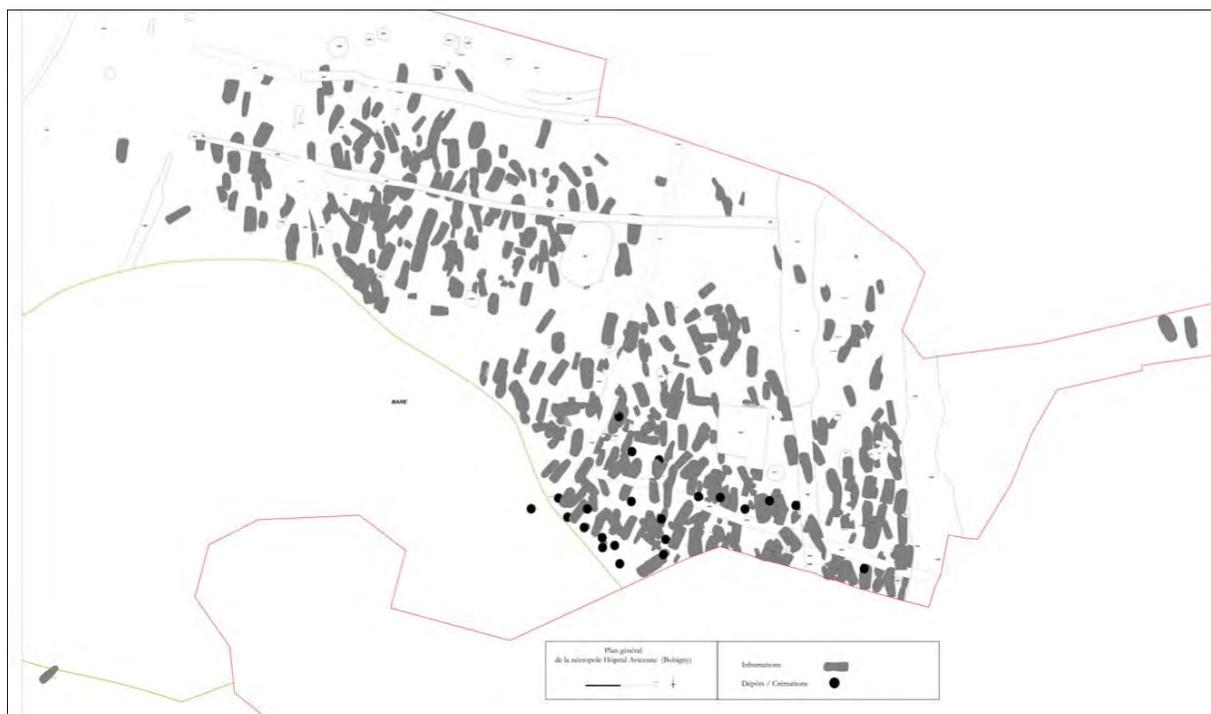


Figure 1 Plan général de la nécropole. © M. Kérien.

Acteurs du projet Bobigny aujourd'hui	
Étude anthropologique des restes osseux :	C. Le Forestier
Archéologie funéraire :	C. le Forestier, S. Marion, J. Kaurin
Finalisation, homogénéisation, vérification du plan général et des plans de détail des sépultures :	S. Marion, C. Le Forestier, M. Kérien
Analyse stratigraphique des sépultures :	A. Michel, C. Le Forestier, S. Marion, M. Kerien, J. Kaurin
Dessin de mobilier :	J. Kaurin, S. Marion
Photos :	E. Jacquot, J. Kaurin, R. Chevallier, A. Barret
Études de mobilier :	J. Kaurin, S. Marion, R. Chevallier, H. Huysseune
Établissement de la documentation systématique par sépulture :	J. Kaurin
Gestion des restaurations et des traitements en laboratoire :	P. Métrot, S. Marion, J. Kaurin
Restauration du mobilier et dégagement pour étude :	R. Chevallier-Conservation-Restauration

Figure 2 Tableau des acteurs du projet Bobigny aujourd'hui. ©S. Marion; H. Huysseune.

Depuis la fouille, plusieurs études ont été menées (Marion *et al.*, 2007; Le Forestier, Proust, 2009), une partie du mobilier a été restaurée¹ et quelques analyses ponctuelles ont pu être effectuées². Aujourd'hui, quinze années après sa découverte, plusieurs acteurs sous l'égide de différentes institutions (le département de la Seine-Saint-Denis, le ministère de la Culture et de la Communication, l'INRAP, l'UMR 8546 Aoroc CNRS/ENS), sont impliqués dans le projet de publication monographique du site (fig. 3) : de nouvelles campagnes d'étude systématique et de conservation-restauration, nécessaires à l'analyse de l'ensemble des données, ont ainsi été amorcées ou relancées.

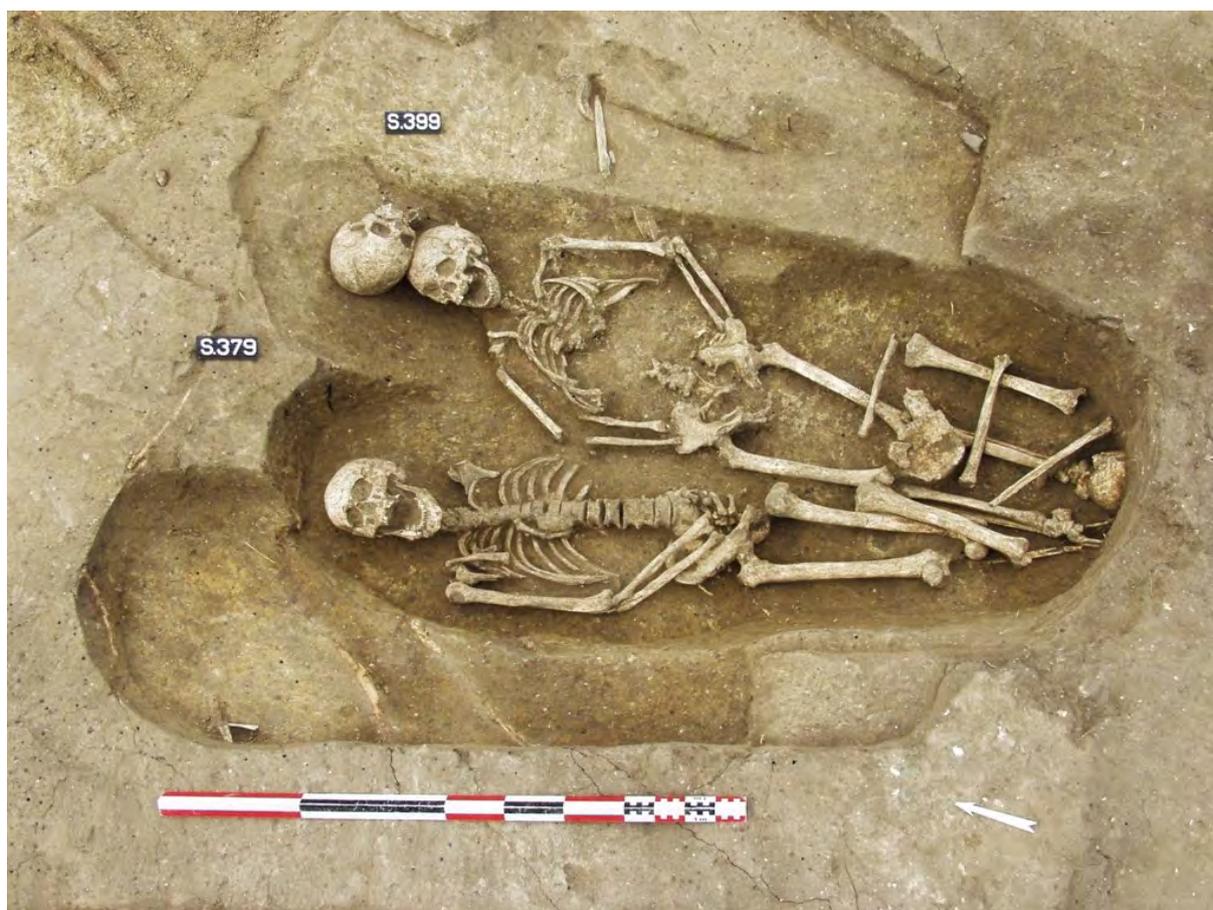


Figure 3 Recoupement de deux sépultures. © C. Le Forestier.

Afin d'étudier l'important mobilier métallique, le CNRS et le département de la Seine-Saint-Denis ont ainsi récemment fait appel à deux conservateurs-restaurateurs d'objets archéologiques : Raphaëlle Chevallier, pour la réalisation des traitements et préconisations de conservation-restauration et Hélène Huysseune, spécialiste de l'étude des restes organiques minéralisés, pour la recherche et l'étude des données discrètes sur les objets.

Leurs missions s'articulent autour du même objectif au sein du projet de publication : fournir à Jenny Kaurin, conservateur du patrimoine et archéologue spécialiste du mobilier métallique,

¹ Toutes les céramiques (102) ont été stabilisées et restaurées par l'atelier Diatret CRBC. Environ 60 objets en fer et la totalité des objets en alliage cuivreux (environ 60 individus) ont été traités respectivement par les laboratoires Conservare et UTICA.

² Études ponctuelles de restes organiques minéralisés (Le Forestier, Proust, 2009).

matière à alimenter la compréhension et l'interprétation des objets et de leur environnement, dans un protocole rigoureux de collecte des informations. Cette collaboration étroite constitue un cadre propice aux échanges, nourrissant une réflexion d'ensemble sur chaque structure archéologique observée, de la fabrication de l'objet métallique à son utilisation dans la tombe. Ce travail en commun sera représenté dans la monographie à travers le catalogue systématique des structures funéraires puis les synthèses des études conduites pour chaque catégorie de données (anthropologie et mobilier).

Après la présentation de quelques données sur la nécropole, nous évoquerons l'apport de cette collaboration spécifique entre spécialistes du métal archéologique, à travers la description de la méthodologie mise en place pour l'étude du mobilier. Nous illustrerons ensuite cette association par l'analyse globale d'une sépulture, particulièrement probante, récemment étudiée.

Contexte de l'étude : données succinctes sur la nécropole

La nécropole de Bobigny est principalement composée de sépultures à inhumation (515 inhumations, une vingtaine de crémations). Du point de vue anthropologique, la qualité de l'ensemble des données recueillies, associée à cet effectif inédit pour la période, offre une population de référence inégalée dans ce contexte. L'étude du site, en cours, permettra ainsi une caractérisation de la population et de ses pratiques funéraires sur une large base statistique, à partir d'individus particulièrement bien conservés.



Figure 4 Détail d'une sépulture avec fibule en place sur la clavicule droite. © S. Marion.

Par ailleurs, l'important mobilier retrouvé³, composé principalement d'éléments métalliques (750 prélèvements contre 102 céramiques), permettra d'établir un référentiel typologique et chronologique pour des catégories d'objets jusqu'à présent peu étudiées, faute de corpus. Bobigny est ainsi appelé à servir de référence à l'échelle européenne pour les éléments de parure et les accessoires vestimentaires en fer. L'essentiel du mobilier métallique est en effet composé de fibules, presque exclusivement en alliage ferreux et présentant une grande variabilité de types. 60 % des sépultures en renfermaient au moins une (**fig. 4**). La nécropole compte également 10 sépultures à armes et 34 inhumations avec parure annulaire, composée de bracelets, torques et bagues en lignite, alliage ferreux ou plus rarement alliage cuivreux.

³ Seules 20 % des sépultures étaient dépourvues de mobilier.

Méthodologie d'étude du mobilier métallique

Organisation de la collaboration entre les différents spécialistes : mise en place de la chaîne d'étude

L'optimisation de la collaboration entre les spécialistes a été recherchée afin de collecter le plus d'informations possibles dans un délai de travail restreint, tout en garantissant l'exploitation optimale des données recueillies. Ainsi, des prises de vues à la réalisation des relevés archéologiques, une chaîne d'étude a été mise en place faisant appel aux diverses compétences de l'archéologue et des conservateurs-restaurateurs (**fig. 5**) :

- étape 1 : les objets sont sélectionnés au fur et à mesure par l'archéologue (J. Kaurin) et regroupés par lots. Un premier lot (A) est envoyé en atelier;
- étape 2 : après un premier examen, les individus présentant des restes organiques minéralisés sont isolés (R. Chevallier, H. Huysseune);
- étape 3 : les objets avec restes organiques minéralisés sont étudiés (H. Huysseune) alors que commence le traitement de conservation-restauration des individus ne présentant aucun reste organique observable (R. Chevallier);
- étape 4 : les objets avec restes organiques sont traités une fois étudiés, tandis que les premiers objets restaurés sont dessinés en atelier (J. Kaurin);
- étape 5 : une fois l'ensemble des objets du lot A dessinés, les photographies qui figureront dans le catalogue sont effectuées (R. Chevallier), tandis qu'un nouveau lot (B) est sélectionné et envoyé en restauration.

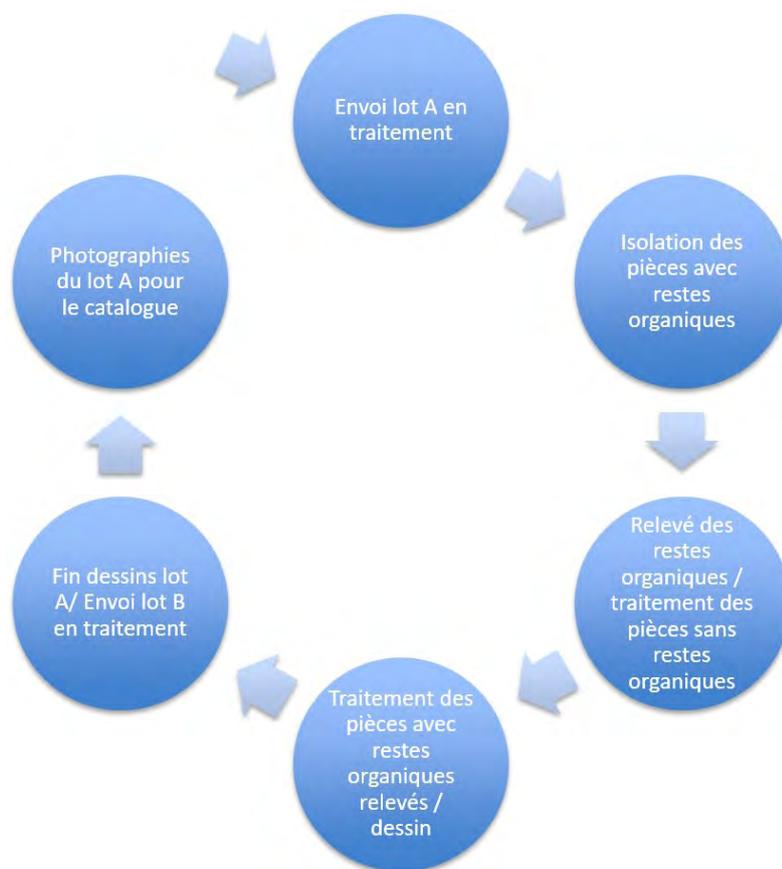


Figure 5 Chaîne d'étude du mobilier métallique. ©J. Kaurin.

Étude des restes organiques minéralisés

La première intervention sur les objets consiste donc à rechercher et étudier les restes de matériaux organiques : fibres végétales ou animales, cuir, bois, etc., provenant des vêtements du défunt, de sa panoplie funéraire, de l'aménagement de sa tombe..., conservés au contact des objets métalliques grâce au processus de corrosion des objets, concomitant à la décomposition de la matière organique.

Le but de cette étude est d'exploiter le fort potentiel informatif de ces restes organiques minéralisés (Fisher, 1994; Rast-Eicher, 2000, 2012), au regard de l'objectif fixé par les archéologues : la collecte systématique de l'ensemble des informations disponibles pour l'étude globale des sépultures. Elle est impérativement menée avant le traitement de conservation-restauration, puisque celui-ci implique le dégagement des produits de corrosion, supports des restes organiques minéralisés. Ce dégagement est nécessaire afin de permettre la lecture des surfaces des objets par l'archéologue. Pour des raisons de budget et de temps, l'étude ne concerne, pour la nécropole de Bobigny, que les pièces sélectionnées pour restauration.

L'étude consiste plus précisément à identifier, localiser, caractériser les restes organiques. Une documentation systématique rigoureuse est établie afin d'être exploitable après leur élimination. La méthodologie appliquée ici est celle proposée par *le Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege* (BLfD, Munich) et C. Proust (Proust, 2009; Huysseune, 2015; Nowak-Böck, Von Looz, 2013). Elle est constituée de trois étapes essentielles :

- la préparation des surfaces d'observation, ou « micro-fouille », soit le dégagement du sédiment pour mettre en évidence les restes organiques et leurs caractéristiques techniques. Ce dégagement est effectué mécaniquement, au scalpel ou avec des aiguilles d'entomologiste, sous loupe binoculaire (grossissement $\times 6$ à $\times 50$);
- la documentation des informations archéologiques contenues dans les restes organiques, qui consiste à enregistrer les informations recueillies grâce à des méthodes de documentation complémentaires : couverture photographique, description des couches identifiées et enregistrement des informations dans une base de données, réalisation des cartographies et micro-stratigraphies (**fig. 6**; Nowak-Böck, Voß, 2015), prise d'échantillons;
- l'exploitation des données, c'est-à-dire la remise en contexte des objets et l'interprétation des informations recueillies. Cette dernière étape, dans ce cas précis de l'étude de la nécropole de Bobigny, sera abordée une fois achevée la collecte de l'ensemble des informations menée sur les sépultures (études de mobilier et étude anthropologique).

Conservation-restauration du mobilier métallique

La conservation-restauration des objets débute dès l'achèvement de la collecte des informations sur les restes organiques. Le projet de conservation-restauration initial du mobilier métallique a été défini avec l'archéologue à partir de deux objectifs principaux :

- accéder à une meilleure lisibilité des techniques de mise en forme et de décor des objets, en raison des enjeux qu'elles représentent pour l'étude chrono-typologique;
- garantir la conservation à long terme du mobilier en réalisant des traitements curatifs adaptés à la sensibilité des objets.

Modèle de cartographie - Microstratigraphies par DAO des restes organiques minéralisés (©BLfD)

Les cartographies sont réalisées à partir d'un modèle Photoshop® intégrant des scripts, pour une représentation standardisée des restes organiques minéralisés et des microstratigraphies. Il a été élaboré par des conservateurs-restaurateurs du laboratoire de restauration en archéologie du Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege (BLfD), ou « Administration centrale pour la conservation du patrimoine bavarois » (Nowack-Böck B. und Voß H., 2016).

Ces scripts permettent :

L'utilisation d'une gamme de couleurs prédéfinies en fonction de la nature des restes (tons bleus, verts ou rouges pour les textiles en fibres animales, végétales ou de nature indéterminée, tons marrons pour le cuir, verts pour le bois et les végétaux, mauves pour la fourrure, jaune pour les matières osseuses, etc.).

L'utilisation de pictogrammes prédéfinis pour faire figurer toutes autres informations utiles : orientation des fils des textiles, continuité de la couche sur les différentes faces des objets, etc.

La réalisation de microstratigraphies : les scripts prévus pour les stratigraphies permettent de reprendre les couleurs utilisées pour la cartographie, en associant, le cas échéant, un schéma correspondant à la nature du reste : structure du cuir, armure du textile, etc. (cf. exemples ci-contre). Ces pictogrammes pour la microstratigraphie permettent ainsi de la comprendre en un coup d'œil, grâce à l'association du code couleur et du schéma apportant des précisions sur la nature des restes. Grâce à ce système, il est possible d'établir aisément une documentation claire, accessible, permettant de comparer les informations à l'échelle intra-site et inter-sites, propice à une publication, et intelligible à l'international. Il peut être intéressant à l'échelle d'un objet, d'un ensemble d'objet, et présente un intérêt particulier pour l'analyse de données à l'échelle d'une sépulture ou d'une nécropole. Les fichiers sont téléchargeables en libre-accès sur le site du BLFD (<http://www.blfd.bayern.de/bodendenkmalpflege/service/>), qui fournit également la notice pour l'installation des scripts (<http://www.blfd.bayern.de/medien/kartierungssystemorganik-erlaeuterung.pdf>). Aujourd'hui en allemand, l'équivalent en anglais est actuellement en cours d'élaboration.

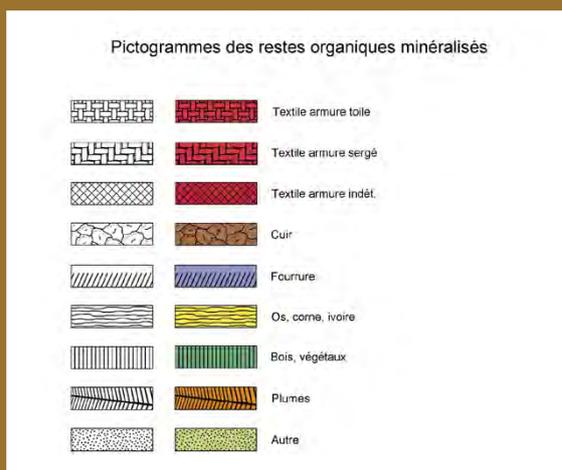


Figure 6 Principes du modèle de cartographie. Microstratigraphies par DAO des restes organiques minéralisés du BLfD. ©H. Huisseune.

À ces objectifs s'ajoutait le cahier des charges de réalisation du « nettoyage pour étude » : après la recherche systématique d'éventuels restes organiques minéralisés, il était demandé :

- d'éliminer les produits de corrosion supérieurs à la limite de la surface d'origine sur la totalité des surfaces des objets;
- de ne restituer aucun des éventuels éléments manquants;
- de ne réaliser aucun comblement autre que pour des impératifs de stabilité mécanique;
- enfin, de n'effectuer de remontages qu'en cas de contact avéré entre les fragments.

Le protocole de traitement devait également être adapté aux contraintes imposées par le calendrier de la publication et le budget limité alloué à la conservation-restauration au sein des dépenses globales nécessaires à l'étude du site.

Une stratégie de conservation-restauration spécifique a été mise en place pour répondre à ces impératifs, tout en tenant compte de la sensibilité des objets (en fer, de petit format et totalement minéralisés pour la plupart) et du risque de perte d'information induit par certains traitements. En accord avec l'ensemble de l'équipe, il a été décidé de procéder à l'élimination des produits de corrosion avant tout traitement de stabilisation de la corrosion. Ce choix permettait de débiter l'étude au plus vite, tout en assurant la collecte des données matérielles avant l'éventuelle perte ou dégradation des informations (décors fins sur les surfaces).

Afin de répondre à l'objectif de conservation pérenne des objets nous avons proposé de réaliser, lors de cette première intervention, l'évaluation de l'état physico-chimique des pièces afin de pouvoir préconiser des traitements curatifs ultérieurs adaptés à chaque individu (déchloration, inhibition/protection ou mise en place de mesures environnementales le cas échéant). La mise en place de cette solution permet également une souplesse d'organisation du travail commun grâce au report de la stabilisation après l'étude. Cette stratégie audacieuse n'a été envisagée au départ que grâce à la connaissance des bonnes conditions de conservation du mobilier métallique au centre archéologique du département de la Seine-Saint-Denis, la présence d'une réserve sèche et la possibilité de suivi régulier des collections en attendant la poursuite des traitements. Par ailleurs, il va de soi que cette proposition n'exclut pas la mise en place de traitements d'urgence en cas de nécessité (inhibition, envoi en traitement de stabilisation d'éléments particulièrement à risque).

Cette solution adoptée, le cahier des charges des archéologues est scrupuleusement suivi : les produits de corrosion sont dégagés mécaniquement par micro-sablage (utilisation de microbilles de verre, de tailles comprises entre 53 et 106 µm), réalisé sous loupe binoculaire. Les comblements sont limités au maintien mécanique des pièces et le collage des fragments est effectué uniquement quand la connexion est assurée, afin d'éviter les approximations et les interprétations erronées.

Aucun examen radiographique n'est systématiquement mené durant l'intervention. Ils ne sont cependant pas exclus en cas de besoin ponctuel, et les documents radiographiques réalisés peu de temps après la fouille sont largement consultés. Par ailleurs, afin de limiter les effets trompeurs de l'interprétation des surfaces au moment du nettoyage, les déformations induites par la corrosion au cours de l'enfouissement ne sont généralement pas « corrigées ». La limite de la surface d'origine est donc conservée dans toutes ses variations d'orientation, des indications orales venant si besoin compléter l'examen visuel au moment du dessin lorsque ces déformations peuvent être mésinterprétées par l'archéologue.

Étude des objets métalliques

Le traitement de conservation-restauration achevé, les objets sont dessinés en atelier. Leur analyse débute dès cette étape où l'échange entre le conservateur-restaurateur et l'archéologue permet d'affiner la compréhension de chaque pièce. Les approches différentes des spécialistes face à l'objet métallique et son évolution matérielle se complètent alors pour interpréter les variations morphologiques, les traces de fabrication, d'usage, de réparation, etc. ou identifier les manques irrémédiables, lacunes et transformations de la matière provoqués par la corrosion.

Parmi les objets métalliques dessinés et étudiés depuis le début de cette campagne d'étude, constitués en majeure partie d'éléments de parure funéraire, trois catégories principales sont représentées :

- les torques (**fig. 7, a et b**);
- les bracelets à jonc lisse ou orné, soit par déformation du jonc (segmenté et/ou chagriné), soit par dépose d'une couche de cuivre (« cuivrage »);
- les fibules.



Figure 7 Exemple d'élément de parure après traitement et dessin (a : photographie du torque après traitement de conservation-restauration. ©R. Chevallier; b : dessin du torque. ©J. Kaurin).

Ces dernières constituent la catégorie la plus représentée, offrant un riche suivi de l'évolution techno-typologique entre le pied libre et le pied attaché sur l'arc. De nombreux décors ont également pu être mis en évidence en divers endroits selon les individus : sur l'arc, le pied, ou encore le porte-ardillon (**fig. 8, fig. 9, a et b**). Ce corpus ouvre d'intéressantes perspectives

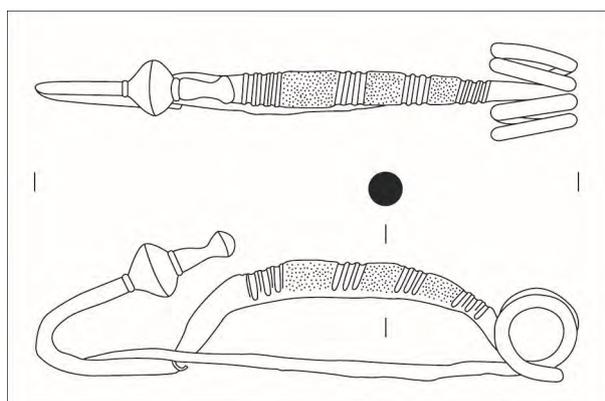


Figure 8 Dessin de fibule, avec décor incisé et chagrinage, réalisé après l'intervention de conservation-restauration. ©J. Kaurin.

permettant de documenter des associations entre les différentes formes de pieds, mais aussi de caractériser et de dater les décors sur la parure en fer.



Figure 9 Détails de décors mis en évidence sur les fibules (a : décor d'incisions et chagrinage sur un arc. ©R. Chevallier; b : décor géométrique incisé sur un porte-ardillon. ©R. Chevallier).

Exemple : étude de la sépulture 146

Afin d'illustrer l'apport de la chaîne d'étude du mobilier métallique et les possibilités d'interprétation qu'offre la mise en commun des résultats obtenus par les divers spécialistes, nous proposons de présenter ici le cas de la sépulture n° 146 de la nécropole (**fig. 10, a et b**).

Le mobilier de cette sépulture est constitué d'une unique fibule en fer, incomplète, d'environ 7 cm de long (**fig. 11, a et b**). Très fragmentée à son arrivée à l'atelier, elle présentait des restes organiques déjà lisibles avant dégagement des sédiments. Leur étude approfondie a permis de mettre en évidence un certain nombre d'éléments minéralisés (**fig. 12**) :

- un textile grossier sur le ressort (un sergé de rapport 2 : 2, tissé avec des fils simples de torsion Z. Le diamètre des fils varie de 1-1,5 à 2-2,3 mm selon les axes, pour une densité moyenne, dans les deux axes, de 2 fils/0,5 cm);
- un reste de fourrure, également sur le ressort, en contact direct avec l'objet métallique (sous le reste textile), mais aussi à la base de l'ardillon (où la chair du cuir et les poils, au contact de l'objet et semblant s'enrouler autour du métal, sont nettement identifiables) et au sommet de l'arc;

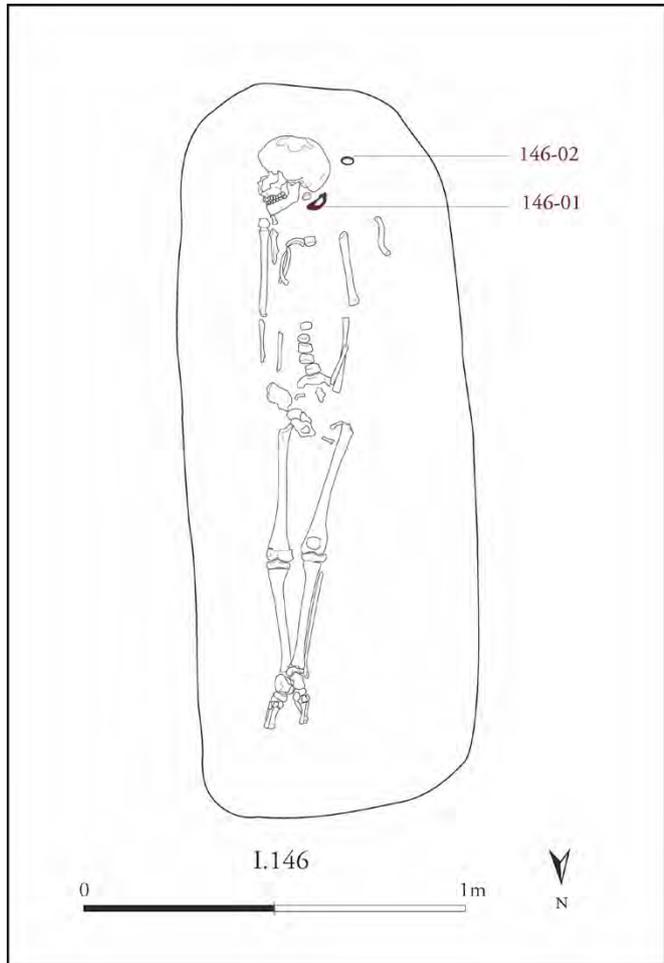
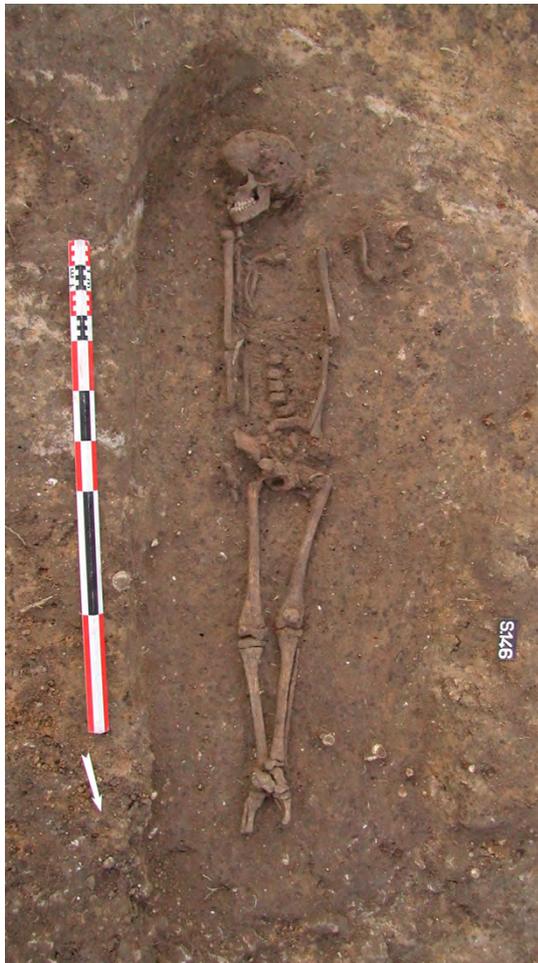


Figure 10 Sépulture 146. (a : photographie de la sépulture 146 après la fouille. © S. Marion; b : relevé de la sépulture 146, avec fibule placée à la hauteur du crâne du défunt. ©M. Kérien).

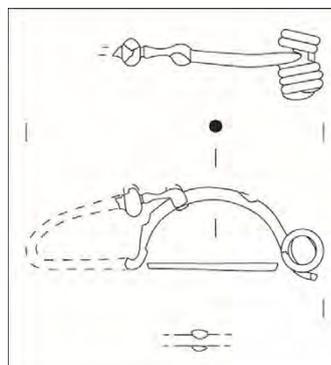


Figure 11 Fibule de la sépulture 146 (a : photographie de la fibule après traitement de conservation-restauration. ©R. Chevallier; b : dessin de la fibule. ©J. Kaurin).



Figure 12 Restes organiques minéralisés conservés sur la fibule de la sépulture 146. En haut : reste textile conservé sur le ressort (à gauche : vue de profil; à droite : vue du dessus); en bas à gauche : reste de peau (cuir et fourrure) conservée à la base de l'ardillon; en bas à droite : reste de cheveux(?). ©H. Huyseune.

- un reste s'apparentant à des cheveux a également été identifié à la base de l'ardillon. La localisation de la fibule dans la sépulture, contre le crâne du défunt, pourrait confirmer cette proposition;
- enfin, un reste (anecdotique) de végétaux a été identifié sur la couche textile présente sur le ressort.

L'ensemble de ces informations a été reporté sur la cartographie et la micro-stratigraphie associée (fig. 13).

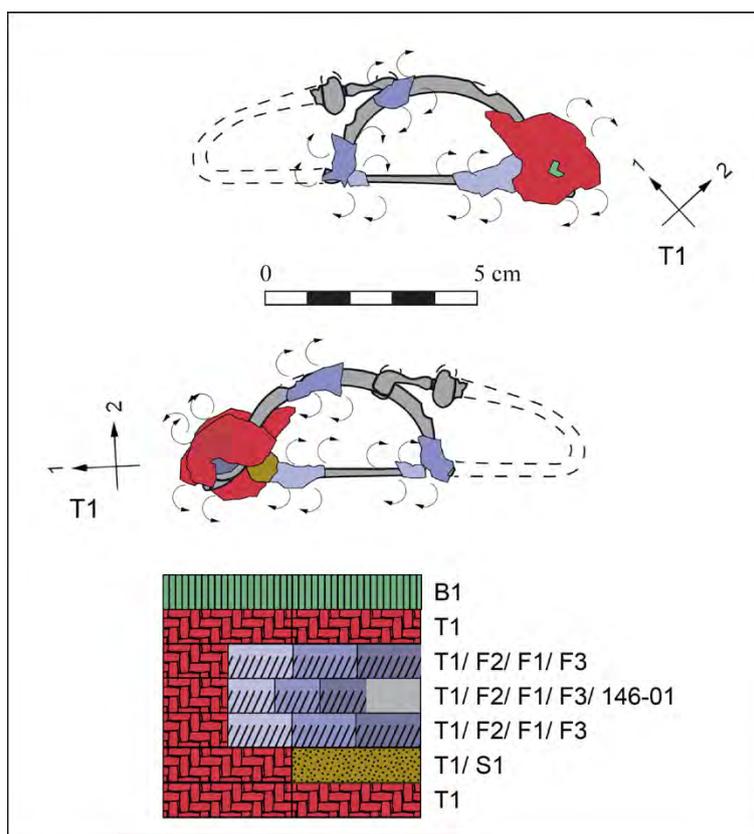


Figure 13 Cartographie des restes organiques minéralisés et microstratigraphie de la fibule de la sépulture 146. ©H. Huysseune.

Le traitement de conservation-restauration a quant à lui permis d'appréhender la morphologie générale de l'objet, à travers la mise en évidence de la surface conservée et le remontage des différents fragments. Le pied manque, mais les informations essentielles à l'étude chrono-typologique (en particulier l'articulation du pied sur l'arc) ont été préservées.

La corrélation de l'ensemble des informations recueillies, des données anthropologiques à l'étude des restes organiques, en passant par la restauration et l'étude chrono-typologique a permis d'établir qu'il s'agissait de la sépulture d'un adolescent d'environ 15 ans, enveloppé dans une pièce de fourrure, vraisemblablement fermée par une fibule en fer fixée au niveau du crâne. L'usage de la pièce de textile grossier reste encore à déterminer (pièce de textile placée sous le corps du défunt?).

Au sein du catalogue, ces informations apparaîtront, pour chaque sépulture, sous forme de brefs descriptifs et de présentations graphiques, selon des normes préalablement définies par l'ensemble des spécialistes concernés par l'étude. L'ensemble doit permettre aux lecteurs, y

compris non-francophones, de disposer d'un aperçu simple et visuellement intelligible des informations élémentaires sur chacune des 515 structures funéraires du site. Il regroupera ainsi :

- les plans (relevé de la sépulture, situation sur le plan général de la nécropole) et les stratigraphies;
- une photographie générale de la sépulture;
- l'étude anthropologique simplifiée;
- la planche mobilier comprenant les dessins vectorisés des objets métalliques, céramiques, lignite, etc.;
- la description du mobilier, accompagnée, pour les objets métalliques restaurés, de l'évaluation de la conservation de leur forme et aspect de surface;
- les photographies après restauration;
- les résultats de l'étude des restes organiques : cartographie, photographies et brève description;
- la restitution des modalités de dépôt des objets faisant la synthèse des différents types d'information.

Conclusion

Le travail conjoint des archéologues et des conservateurs-restaurateurs sur le mobilier métallique de la nécropole de Bobigny a permis de révéler de nombreuses informations, grâce à une méthodologie de collecte et d'exploitation des données optimisée. Outre les nouveaux renseignements désormais disponibles sur les modes de dépôt des objets et les matériaux présents au moment de l'enfouissement, une diversité inattendue des traitements de surface, décors et techniques de mises en œuvre de la parure en fer a pu être mise en évidence. Le corpus de Bobigny va ainsi permettre un profond renouvellement des connaissances sur ce type de mobilier au deuxième âge du Fer, tout en précisant les rites funéraires des populations vivant au III^e siècle avant J.C. dans le Bassin parisien.

L'étude approfondie de la nécropole étant en cours, les perspectives qui s'ouvrent restent la réalisation d'études comparatives, l'exploitation des informations recueillies en atelier au regard des résultats de l'étude taphonomique et enfin, après avoir rassemblé et analysé l'ensemble des données sur le mobilier et son contexte, la réalisation des synthèses.

Références bibliographiques

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

Huysseune H. (2015), *Conservation-restauration d'un ensemble archéologique prélevé en motte : une sépulture d'enfant du Haut Moyen Âge (VII^e siècle, Langenpreising, Bavière)*, mémoire de master 2, université Paris 1-Panthéon Sorbonne.

Le Forestier C., Proust C. (2009), « L'appareillage gaulois d'un sujet atteint d'une maladie musculaire à Bobigny (Seine-Saint-Denis) », dans Delattre V. et Sallem R. (dir.), *Décrypter la différence : lecture archéologique et historique de la place des personnes handicapées dans les communautés passées*, Paris, CQFD, p. 1-4.

Marion S., Le Bechennec Y., Le Forestier C. (2007), *Bobigny « Hôpital Avicenne »*. Rapport final d'opération, 3 vol., INRAP/SRA Île-de-France.

Nowak-Böck B., Voß H. (2015), « Standardised mapping system for the digital documentation of organic materials on metal finds and *in-situ*-blocs », *Archaeological textiles review*, n° 57, 2015 Issue, p. 60-69.

Nowak-Böck B., Von Looz G. (2013), « Methodik der Bearbeitung von organischen Resten an Metallfunden », dans Haas-Gebhard B. und Fehr H. (dir.), *Unterhaching – Eine Grabgruppe um 500 bei München, Abhandlungen und Bestandskatalog Archäologischer Staatsammlung München 1*, München, Archäologische Staatsammlung München, p. 156-185.

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

Rast-Eicher A. (2000), « De la fouille à l'étude : la matière organique dans les tombes », dans Cardon D. et Feugère M. (dir.), *Archéologie des textiles : des origines au V^e siècle*, actes du colloque de Lattes, octobre 1999, Montagnac, Editions M. Mergoïl (coll. Monographies *Instrumentum*, 14), p. 187-193.

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

Les auteurs

Hélène Huysseune* conservateur-restaurateur, contractuelle de l'UMR 8546 AOROC CNRS/ENS, 142, rue du Chemin vert, 75011 Paris, helenehuysseune@yahoo.fr

Raphaëlle Chevallier conservateur-restaurateur indépendante, 33, rue du Faubourg du Temple - 75010 Paris (Atelier Hylé), raphaellechevallier.cr@gmail.com

Avec la collaboration de :

- Stéphane Marion (DRAC Lorraine) et Cyrille Le Forestier (INRAP CIF) coordinateurs du projet Bobigny.
- Jenny Kaurin (DRAC Centre Val-de-Loire), coordinateur métal pour le projet Bobigny;
- Micheline Kérien.

Institutions : UMR 8546 AOROC CNRS/ENS, conseil département de la Seine-Saint-Denis, ministère de la Culture et de la Communication, INRAP

*Auteur auquel doit être adressée la correspondance

INTERVENTIONS INTERDISCIPLINAIRES SUR DES RESTES DE MAMMOUTH EN CONTEXTE D'ARCHÉOLOGIE PRÉVENTIVE : LE CAS DU SITE DU PALÉOLITHIQUE MOYEN DE MONTEREAU- SUR-LE-JARD (SEINE-ET-MARNE)

Grégory Bayle, Catherine Didelot, Mercedes Maya-Pion, Stéphane Péan,
Frédéric Blaser, Christine Chaussé

Résumé La découverte en 2015 de restes de mammouth sur la commune de Montereau-sur-le-Jard (Seine-et-Marne), lors d'une fouille archéologique préventive d'un site du Paléolithique moyen, a été l'occasion de mettre en place un protocole de prélèvement, de stabilisation et de conservation des vestiges en vue d'une étude archéo-zoologique. Les délais impartis à la fouille et à l'étude ont conditionné l'intervention de conservation sur ces vestiges particulièrement dégradés. Nous présentons la stratégie qui a été choisie pour permettre aux vestiges de mammouth de livrer des informations archéo-zoologiques et les résultats obtenus.

Un contexte exceptionnel de conservation de restes de mammouth

En 2015, la fouille préventive réalisée au lieu-dit *Villaroche* à Montereau-sur-le-Jard (Seine-et-Marne) a mis au jour plusieurs niveaux du Paléolithique moyen relativement bien conservés dans une dépression naturelle au sud du plateau briard. Ces niveaux recelaient des éléments d'industries lithiques, peu altérés, qui pourraient dater, d'après les premiers éléments chrono-stratigraphiques, du début du dernier cycle glaciaire, soit entre 110 000 et 60 000 ans (datations OSL en attente). Au fond de cette dépression est apparue une dizaine de restes de mammouth, associés stratigraphiquement à des outils en silex (Blaser *et al.*, 2016).

Plusieurs questions se posent alors à propos des vestiges de mammouth : de quelle espèce de mammouth s'agit-il ? Combien d'individus sont représentés ? Peut-on déterminer leur âge individuel et leur sexe ? Ont-ils des caractéristiques morphologiques particulières ? Comment les vestiges se sont-ils mis en place au fond de cette dépression ? Les mammouths ont-ils été contemporains des hommes qui ont abandonné les restes lithiques ? Si oui, quelles ont pu être leurs relations (chasse ou exploitation d'animaux morts naturellement) ?

Ces restes de mammouth ne sont pas les premiers à avoir été découverts dans la région francilienne. Outre des découvertes anciennes dans les carrières en fond de vallée, une fouille de sauvetage urgent réalisée en 2012 à Changis-sur-Marne a livré des restes de mammouth laineux bien conservés, sur une ancienne berge de la Marne (Bayle *et al.*, 2013), qui pourraient être contemporains de ceux de Montereau-sur-le-Jard. Ces deux sites apportent des éléments de réponses à plusieurs problématiques : en termes paléo-environnementaux, ils

documentent le début du dernier grand cycle glaciaire; paléontologiquement, ils peuvent contribuer à caractériser les mammouths d'Europe occidentale de cette période; archéologiquement, ils alimentent notre réflexion sur les relations entre mammouths et groupes humains et leurs territoires; enfin, taphonomiquement, ils permettent d'appréhender les degrés de conservation des gisements et des vestiges entre contextes de plateaux et de vallées.

Stratégies pour répondre aux contraintes et aux problématiques du site

L'expérience de la fouille et du traitement des ossements de mammouth de Changis-sur-Marne a conditionné en grande partie les interventions à Montereau-sur-le-Jard. Dans le premier cas, les ossements, relativement bien conservés, n'ont pas pu être suivis par des spécialistes en conservation-restauration pendant la phase de terrain au vu du caractère fortuit de la découverte. Ils ont fait l'objet d'un enregistrement très détaillé et, pour plusieurs d'entre eux, d'un prélèvement en coque de bandes plâtrées. Les principaux traitements ont été effectués en base INRAP par différents intervenants (bénévoles, étudiants du Muséum et d'universités en archéologie). Les interventions de plusieurs étudiants en conservation-restauration des biens culturels de l'université de Paris I, avec la collaboration du laboratoire de conservation-restauration UTICA, ont permis de fixer un protocole de traitement en adéquation avec ces éléments osseux particuliers.

Lors de la découverte des restes de mammouth à Montereau-sur-le-Jard, trois ans après ceux de Changis-sur-Marne, le laboratoire UTICA a été de nouveau sollicité pour intervenir, cette fois, dès la phase de terrain et, par la suite, en laboratoire. Les ossements étaient en effet extrêmement dégradés (exfoliés et effrités). En outre, leur rareté en contexte de plateau et leur association stratigraphique avec des éléments d'industrie lithique ont motivé cette intervention, délicate, dans les conditions d'une fouille préventive, pour recueillir un maximum d'informations archéo-zoologiques : identification des éléments anatomiques, de l'espèce, de l'âge, du sexe et prise de mesures ostéométriques.

En effet, le cadre législatif de la fouille préventive prévoit que l'opérateur doit prendre les dispositions nécessaires à la mise en état pour étude des vestiges archéologiques mobiliers, leur conservation et la garde de ceux-ci, le temps nécessaire à l'étude et la rédaction du rapport (SD Archétis/ Veille juridique archéologie préventive, 2008). Il n'était donc pas question de traiter ces vestiges osseux en vue d'une restauration complète, mais bien de permettre aux archéologues d'accéder à des informations pour répondre ultérieurement à certaines problématiques. Les délais de la fouille, d'une durée de 35 jours, ont conditionné également le dégagement, la consolidation et le prélèvement de ces restes osseux. Les ossements devaient être retirés assez rapidement pour permettre de nouveaux décapages et parer à des dégradations supplémentaires une fois dégagés, notamment au vu des conditions caniculaires au moment de la fouille.

L'intervention sur le terrain

Les ossements sont apparus lors du décapage à la pelle mécanique. Cette technique de fouille préventive, nécessaire pour traiter dans les délais impartis l'imposant volume de cet espace, a entraîné quelques arasements de surface. Les ossements ont été ensuite dégagés plus délicatement, à l'aide de truelles, bâtonnets en bois, outils de dentiste et pinceaux. Au fur et à

mesure de leur dégagement, ces vestiges se sont révélés dégradés : les surfaces osseuses sont apparues desquamées et friables, tandis que la matière osseuse présentait une absence de consistance due à la perte de matière organique. Ces restes étaient enrobés de sédiments hétérogènes, composés à la base d'une argile verte compacte et, au sommet, de passées sableuses oxydées meubles, de graviers et de quelques galets. Quelques-uns de ces os étaient même déformés au contact de ces galets (**fig. 1**). Du fait de la fragilité des ossements, le choix a été fait de laisser en place du sédiment pour éviter de les dégrader davantage, avant de les prélever en motte afin de finaliser le nettoyage en laboratoire.



Figure 1 Dent jugale de mammoth (n° 5) de Montereau-sur-le-Jard, en cours de dégagement.
© INRAP.

Au cours de la fouille, neuf vestiges osseux ont été dégagés : une mandibule retournée (n° 1), un ensemble de trois fragments de jugale (n° 2), une défense (n° 3), un fragment diaphysaire d'os long (n° 4), trois dents jugales dispersées (n° 5 à 7) et deux jugales provenant probablement d'une même mandibule (n° 8 et 9).

Une fois les ossements dégagés, des relevés photographiques ont été effectués, notamment pour des restitutions en 3D par photogrammétrie. Dès la phase de terrain, les vestiges ont fait l'objet également d'observations taphonomiques et anatomiques préliminaires.

Afin de préserver toutes les possibilités d'analyses ultérieures, seules quelques interventions ponctuelles de consolidation de surface ont été effectuées dès le terrain, sur deux éléments particulièrement dégradés (selon les zones et leur état de conservation, application de Paraloid® B72 à 5 % ou 10 % dans l'acétone ou de papier japon imprégné de Tylose® MH300P) (**fig. 2**).



Figure 2 Traitement de consolidation d'une mandibule de mammouth (n° 1) de Montereau-sur-le-Jard, en cours de fouille. © INRAP.



Figure 3 Mise en place d'une coque en bandes plâtrées sur des dents jugales (n° 8 et 9) de Montereau-sur-le-Jard. © V. Charpentier, INRAP.

Pour permettre le prélèvement en motte, les vestiges, une fois dégagés, ont été recouverts d'un film plastique étirable, puis de plusieurs couches de bandes plâtrées qui les maintenaient dans une coque rigide (fig. 3). Pour la mandibule, des renforts de polystyrène ont été inclus dans la coque pour consolider la zone de la symphyse mentonnière. Un creusement en sape des restes ainsi consolidés a permis de prélever les blocs, avant de les emballer dans du film alimentaire étirable et de les caler avec des planches en polystyrène dans des caisses pour le transport.

Les éléments les plus volumineux ont été déposés sur des palettes doublées d'une planche de polystyrène, puis emballés dans du film alimentaire étirable pour leur transport. Tous les films ont été perforés pour permettre d'évacuer progressivement l'humidité.

Les premières observations et mesures faites sur le terrain ont permis d'attribuer les dents à l'espèce *Mammuthus primigenius*, c'est-à-dire le mammouth laineux. En revanche, plusieurs déterminations anatomiques n'ont pu être précisées, notamment le rang (parmi les prémolaires déciduales et molaires définitives) et la position (inférieure/supérieure, gauche/droite) des dents jugales. Ces informations, indispensables pour estimer le nombre minimum d'individus et leur âge, restaient à obtenir en laboratoire.

Traitement de conservation en laboratoire

Les restes ont été d'abord stockés au centre archéologique de La Courneuve (93). Ils y ont fait l'objet de premiers traitements partiels réalisés quelques jours après les prélèvements. En particulier, le revers des mottes a été fouillé afin de limiter les risques liés au séchage des sédiments (fissures, voire fractures, moisissures). Une nouvelle coque plâtrée a été réalisée pour certaines jugales afin de les retourner et rendre visible leur face de découverte. La motte de la mandibule a été fouillée partiellement pour accéder aux surfaces de mastication; les branches ont dû être doublées au papier japon. En raison de son mauvais état de conservation, la dent n° 5 a été plus finement nettoyée et consolidée. Les ossements ont été par la suite transportés au laboratoire UTICA à Saint-Denis (93) pour finaliser les interventions.

Les traitements ont été adaptés à l'état des vestiges et aux informations archéo-zoologiques recherchées. Dans certains cas, un nettoyage exhaustif aurait entraîné une dégradation supplémentaire des éléments. Une consolidation totale de la mandibule par des produits chimiques aurait perturbé les analyses isotopiques et celle des micro-usures dentaires envisagées, visant à identifier le régime alimentaire de l'animal. Ainsi, il a été décidé de laisser des parties osseuses et les surfaces masticatrices des dents non consolidées. Ces zones n'ont pas déstabilisé la cohésion de la mandibule (fig. 4). Le nettoyage des autres éléments est resté partiel dès que l'information archéo-zoologique a pu être obtenue (prises de mesures, déterminations anatomiques précises) (fig. 5). Les produits utilisés pour le nettoyage des ossements sont un mélange d'eau et d'éthanol. La consolidation de certaines parties a été faite avec du Paraloid® B72 à 5, 10 ou 15 % en dilution dans l'acétone, éventuellement associée à des doublages au papier japon.

Pour permettre la séparation des trois fragments dentaires du prélèvement n° 2, des doublages au papier japon et à la Tylose® MH300P ont été effectués sur chaque fragment avant la confection des différentes chapes de plâtre.

Le manque de cohésion mécanique des ossements rend nécessaire leur maintien sur une coque plâtrée. Plusieurs coques ont été réalisées pour que les ossements puissent être étudiés sur toutes leurs faces.

Une fois les informations recueillies, les ossements ont été recouverts avec leur coque d'un film en mousse de polyéthylène au pH neutre et ont été replacés dans l'espace de stockage du centre archéologique de La Courneuve. Pour les conserver au mieux, il a été décidé de limiter leur manipulation et de les stocker à une humidité relative stable de 55 % environ et une température stable d'environ 18-20 °Celsius. En attendant le versement de la collection archéologique à la direction régionale des Affaires culturelles d'Île-de-France, après un temps d'étude prévu de deux ans (article 523-12 du Code du patrimoine), le mobilier fait l'objet dans le dépôt du centre archéologique d'une conservation préventive dans des sas hermétiques, à l'abri de la lumière, où l'hygrométrie est contrôlée.



Figure 4 Évolution du traitement d'une mandibule de mammoth (n° 1) de Montereau-sur-le-Jard (a : dégagement sur le terrain, face ventrale; b : en cours de nettoyage et de consolidation; c : mandibule traitée et conditionnée dans sa coque plâtrée au laboratoire UTICA). © S. Péan, MNHN.



Figure 5 Dent jugale de mammoth (n° 5) de Montereau-sur-le-Jard, nettoyée, consolidée et conditionnée dans une coque en bandes plâtrées. © S. Péan, MNHN.

Bilan

L'intervention de conservation sur des ossements dégradés de mammoth de Montereau-sur-le-Jard, issus d'une fouille archéologique préventive, met en avant toute l'importance de la concertation entre les différents acteurs : archéologue, archéo-zoologue, conservateur-restaurateur et gestionnaire des collections.

Dans ce contexte, l'objectif du traitement de conservation a été de permettre aux archéo-zoologues d'accéder au maximum d'informations possibles pour répondre aux problématiques du site, tout en maintenant ces vestiges dans un état de stabilité.

L'intervention sur le terrain permet de mieux connaître les conditions de découverte et le milieu encaissant des vestiges. Les stratégies de traitement des restes ont été déterminées par les contraintes de l'opération, les problématiques archéologiques du site et l'état des vestiges. L'exhumation des vestiges osseux perturbant leur équilibre physico-chimique (Berduco, 1990), il est donc primordial d'intervenir dès le terrain pour pallier ce « choc ». L'expérience précédente de Changis-sur-Marne a révélé en outre que les conditions ambiantes

de stockage des restes osseux de mammouth, et plus particulièrement des défenses, jouent un rôle prépondérant dans leur stabilisation.

A Montereau-sur-le-Jard, l'intervention sur le terrain a permis de constater l'état dégradé des restes et de les préparer en vue de leur prélèvement et de leur traitement ultérieur. Elle avait pour mission de réduire l'utilisation de consolidant et de prélever les restes intégralement dans un délai très court.

Le protocole d'intervention en laboratoire, validé par les différents acteurs, a consisté à placer chaque élément dans un support en coque plâtrée, à nettoyer finement seulement les parties les plus informatives et à consolider les parties les plus fragiles.

Ces interventions en conservation et ces échanges ont permis d'obtenir plusieurs éléments de réponse archéo-zoologiques aux problématiques posées sur ce site. Les observations plus précises des dents jugales ont permis d'identifier au moins deux adultes. Les mensurations de la défense et des dents jugales s'inscrivent dans la variabilité du mammouth laineux, sans discrimination du sexe.

Les restes conservés à Montereau-sur-le-Jard sont des éléments très résistants du squelette, impliquant des conditions de conservation défavorables à la matière osseuse sur ce plateau. Dans ce contexte, il est possible que des restes d'autres animaux, plus petits par exemple, aient disparu. Ces animaux ont côtoyé une dépression naturelle qui a pu constituer un point d'eau. La présence d'éléments appartenant à la tête de mammouth, partie lourde et encombrante, suppose une mort dans ou à proximité de cette dépression. La présence de plusieurs niveaux archéologiques contenant des éléments d'industrie lithique indique clairement que des groupes de chasseurs-cueilleurs sont venus à plusieurs reprises sur ce site. Ces industries lithiques sont dominées par des pointes qui ont pu servir à la chasse ou au traitement des animaux. L'hypothèse d'un lieu de chasse, de mammouths entre autres, est tentante mais plusieurs indices font défaut, notamment ceux qui établissent un lien direct entre les artefacts en silex et les ossements (par exemple des traces de découpe ou des restes de projectile figés dans l'os).

Conclusion

Au-delà du cas de Montereau-sur-le-Jard, un protocole d'intervention et de traitement des vestiges osseux de mammouth, adapté aux différents contextes rencontrés, est en projet, sous forme d'une fiche synthétique, à destination de la communauté scientifique, archéologues et conservateurs-restaurateurs. Les expériences de Montereau-sur-le-Jard et de Changis-sur-Marne, dont les restes sont toujours en cours d'analyses, mettent en avant tout l'intérêt des échanges entre conservateurs-restaurateurs des biens culturels et archéologues sur les sites archéologiques dès la phase de terrain, tout particulièrement en contexte préventif, pour répondre à des problématiques bien définies.

Références bibliographiques

Bayle G., Blaser F., Girot F., Péan S., Raymond P., Wuscher P. (2013), « Le site paléolithique à ossements de mammoth de Changis-sur-Marne (Seine-et-Marne) », *Actes de la Journée archéologique d'Île-de-France du 26 janvier 2012*, Cergy-Pontoise, DRAC Île-de-France, Condé-sur-Noireau, Corlet imprimeur, p. 17-28.

Berducou M.-C. (1990), *La conservation en archéologie : méthodes et pratique de la conservation-restauration des vestiges archéologiques*, Paris, Masson.

Blaser F., Chaussé C., Bayle G., Claud E., Coubray S., Didelot C., Péan S. (2016), « Données préliminaires sur la fouille d'occupations du Paléolithique moyen à Montereau-sur-Le Jard », *Bulletin de la Société pré-historique française*, tome 113, n° 4, p. 819-823.

SD Archétis / Veille juridique archéologie préventive (2008), *La détention pour étude des vestiges archéologiques mobiliers (archéologie préventive)*, Paris, ministère de la Culture et de la Communication, direction de l'Architecture et du Patrimoine, sous-direction de l'Archéologie, de l'Ethnologie, de l'Inventaire et du Système d'Information, 5 p.

Les auteurs

Grégory Bayle* archéo-zoologue, INRAP, UMR 7324, 32 rue Délizy, 93500 Pantin, gregory.bayle@inrap.fr

Catherine Didelot conservatrice-restauratrice, Laboratoire UTICA, 8 rue Franciade, 93200 Saint-Denis, catherine.didelot@free.fr

Mercedes Maya-Pion gestionnaire des collections, INRAP, 34-36 avenue Paul Vaillant-Couturier, 93120 La Courneuve, mercedes.pion@inrap.fr

Stéphane Péan archéo-zoologue, maître de conférences, Muséum national d'histoire naturelle, UMR 7194, IPH, 1 rue René Panhard, 75013 Paris, stephane.pean@mnhn.fr

Frédéric Blaser paléolithicien, responsable d'opération, INRAP, UMR 7055, 34-36 avenue Paul Vaillant-Couturier, 93120 La Courneuve, frederic.blaser@inrap.fr

Christine Chaussé géomorphologue, INRAP, UMR 8591, 56 boulevard de Courcerin, Espace Multi-Services, Lot 34, 77183 Croissy-Beaubourg, christine.chausse@inrap.fr

*Auteur auquel doit être adressée la correspondance

À QUOI SERT L'ÉTUDE DES TEXTILES PRÉLIMINAIRE À LA RESTAURATION DU MOBILIER ?

Delphine Henri, Emeline Retournard

Résumé Faisant suite à sa communication lors des Journées des restaurateurs en archéologie en 2015, Delphine Henri propose de présenter l'intérêt de l'étude de textiles archéologiques à travers plusieurs exemples de cas, dont les textiles funéraires découverts à Saint-Germain-des-Prés (75) et les textiles mis au jour sur le site minier de Brandes-en-Oisans (38), étude en cours par Emeline Retournard.

En 2015, D. Henri avait souligné l'importance de la communication entre archéologues spécialistes du textile et les restaurateurs traitant ce mobilier. Plusieurs auditeurs avaient alors demandé davantage de précisions sur le contenu et les apports de ces analyses. Nous avons souhaité présenter ici les apports des études de corpus dont la conservation est très différente. On ne peut que souligner la haute fréquence de la découverte de restes textiles. Delphine Henri a compilé quelques-uns de ses examens des inventaires de mobilier métallique sur différents sites dans le tableau (fig. 1).

Site - datation	Mobilier métallique	État du corpus	Dont textile conservé	% de supports pour textiles
Allonnes (28) - VI ^e / VII ^e	178	restauré	104	58,5 %
Thimert-Gatelle (28) - VI ^e / VII ^e	487	non restauré	458	94,0 %
Ports-sur-Vienne (37) - III ^e	10	non restauré	8	80,0 %
Ensisheim (68) - VI ^e / VII ^e	595	partiellement restauré	461	77,5 %
Saint-Germain-des-Prés (75) - VI ^e / VII ^e	75	non restauré	62	83,0 %

Figure 1 Nombre de supports métalliques conservant la trace étudiable de restes textiles.

En général, les archéologues de terrain n'avaient pas ou peu vu de restes textiles. Ces examens ont confirmé que les restes organiques conservés au contact d'un support métallique demeurent difficiles à détecter pour qui n'est pas habitué à les reconnaître, mais qu'ils y sont présents en abondance.

Les termes employés ci-dessous sont définis et développés dans la thèse de doctorat de Christophe Moulhérat (chargé d'analyses des collections du musée du quai Branly, Paris), soutenue en 2001 (Moulhérat, 2001). Ce vocabulaire porte malheureusement à confusion car les mêmes mots ont des sens différents dans le domaine de la restauration et de l'archéologie textile. En premier lieu, le terme « textile » employé seul renvoie dans l'imaginaire collectif au textile récent ; il est visualisé sous une forme organique. Sa conservation est permise par une sécheresse, un froid ou une humidité extrême (pour davantage de détails, voir Moulhérat, 2001, p. 22-23). Les autres cas de conservation ne sont plus organiques : le textile est altéré. Deux exemples, plus rares, sont l'empreinte du textile dans un matériau ductile (plâtre, argile, etc.) et la forme carbonisée. L'écrasante majorité des textiles archéologiques ont une forme minéralisée, par l'action des sels de corrosion métalliques (pour le détail du processus de minéralisation, voir Moulhérat, 2001, p. 27-28). Il existe également une minéralisation par les sels minéraux (calcite, etc.). Les petites dimensions des éléments conservés et les sédiments recouvrant les textiles rendent ces derniers souvent délicats à reconnaître. Dès lors, les textiles archéologiques peuvent être voués à disparaître en raison de leur non-identification.

Étude de textiles découverts à Saint-Germain-des-Prés (Paris), un cas de « textiles moches »

Une portion du cimetière de Saint-Germain-des-Prés, au pied de l'église, a été fouillée fin 2014 par le département d'Histoire, d'Architecture et d'Archéologie de Paris (DHAAP), sous la direction de Jean-François Goret. Il ne s'agit bien entendu pas ici de dévoiler les résultats de la fouille, ni même ceux de l'étude des restes textiles qui eut lieu en 2016, mais plutôt d'attirer l'attention du lecteur sur ce type de mobilier qu'il est aisé de confondre avec du sédiment.

Les photographies présentées lors des Journées des restaurateurs en archéologie montraient dans un premier temps deux cas de conservation plus classique, sur un support métallique (SP016 US1108 et SP023, US1216), dont l'aspect aurait déjà pu faire douter de l'apport informatif. Le fragment de sarcophage US1244 était en cours de dégagement lorsque Claire Martin et Delphine Henri se rendirent sur le chantier archéologique. La présence de deux bouclettes en alliages cuivreux, possiblement en place, ralentissait le travail du fouilleur et permit l'identification d'une épaisse couche de matières organiques, prises dans un premier temps pour de la poussière légèrement indurée.

L'observation technique a permis l'élaboration de tableaux (**fig. 2**) dont l'analyse chrono-spatiale fournit un certain nombre d'hypothèses d'interprétation. Les conclusions sont présentées ici à la suite des observations afin de faciliter la compréhension du lecteur.

Ce fragment de sarcophage US1244 n'avait pas reçu de numéro de sépulture, en l'absence de preuve de fonction funéraire. La fouille du fond du sarcophage avait été suspendue et décision avait été prise de la reprendre en laboratoire en raison de la nature très organique de ce qui semblait être du sédiment au fond, ainsi que la présence semble-t-il en place d'éléments de parure.

L'ensemble des textiles observés sont couverts de poussière, tant à l'échelle macroscopique qu'à l'échelle microscopique, ce qui a malheureusement fortement compromis les identifications.

Identifiant textile	Support du textile	Type de textile	Réduction chaîne (fils / cm)	Torsion chaîne	Diamètre (mm)	Fibre chaîne	Réduction trame (fils / cm)	Torsion trame	Diamètre trame (mm)	Fibre trame	Localisation / stratification	Interprétation textile
Ak	Sarcophage	Sergé de 2 lie 2	11	Z	0,2	?	10	Z	0,4	?	Panneaux latéraux et fond, sur tout l'intérieur, l'arrête de la cuve et les 10 cm supérieurs de la face externe	Architecture
Al	1244.1 : plaque	Toile	18	S	0,2	Soie?	25	S	0,25	Soie?	Al - iso 1 - cuir - al	Vêtement
Am	1244.2 : boucle	Toile	15	Z	0,2	Végétal?	10	S	0,3	Végétal?	Am - iso 2 - cuir - an	Vêtement
An	1244.2 : boucle	Tissu indéterminé	10	Z	0,5	?	16	S	0,5	?	Sur un caillou, très petite surface conservée	Sous-vêtement ou doublure
Ao	Sarcophage	Sergé de 2 lie 2	15	Z	0,4	?	15	S	0,4	?	Iso 2 - an - ao (plusieurs épaisseurs) - restes organiques et os - iso 4 et 5 - ao (plusieurs épaisseurs) - ap - ak	Enveloppe sous les vêtements : bas ou bandes molletières?
Ap	Sarcophage	Non textile : fourrure	/	/	/	?	/	/	/	/		architecture

Figure 2 Inventaire des restes textiles découverts dans le sarcophage US 1244.

La fouille a été stratigraphique, documentée par une série de photos annotées. Un objet métallique déjà prélevé, non localisé, porte le tissu am.

Le travail en laboratoire a débuté par un examen minutieux de la cuve. Des bribes du tissu ak la tapissent entièrement à l'intérieur. On peut le suivre sur les rebords du sarcophage, formant des plis aux angles internes et supérieurs ainsi que sur 10 cm environ en haut de la face externe de la cuve. En se dégradant, il semble que le plâtre, dont le sarcophage est formé, ait absorbé les fils par endroits. À d'autres endroits, le tissu persiste sous la forme d'empreinte négative. Le couvercle du sarcophage n'a pu être examiné.

Les traces sur le bas des parois internes de la cuve montrent la présence de restes textiles sur au moins 7 cm. La motte conservée pour la fouille en laboratoire ne recouvrait pas la totalité du fond. La description ci-dessous suit une logique stratigraphique; les éléments présents dans le fond peuvent déjà être visibles en bordure des photos de documentation, aussi l'annotation des photographies en plan est-elle indispensable à la compréhension de la fouille. Le détail des différentes strates observées est dans le tableau (fig. 3), voici les conclusions des observations effectuées.

L'iso 1, déjà mobilisé, a été prélevé en premier. Les autres éléments métalliques ont été prélevés par ordre stratigraphique, après que toutes les observations et relevés ont été faits.

Un vêtement ou suaire fin, en taffetas de soie (toile), compose le haut du comblement observé (al); il est possible que d'autres textiles situés au-dessus n'aient pas été conservés.

La toile végétale am est de qualité moyenne (fils de diamètre 0,2 mm, de torsion z dans un sens, s dans l'autre, 10 à 15 fils / cm). Il s'agit vraisemblablement d'un vêtement.

Le tissu an, moins bien conservé, semble grossier. Peut-être est-ce un sous-vêtement?

Le sergé de 2 lie 2 ao présente un certain nombre de superpositions. Sa disposition au-dessus, en-dessous et sur les côtés des os des pieds montre qu'il enveloppe les extrémités. Il s'agit donc soit de chausses, soit de bandes molletières. Il est peu probable qu'un suaire enveloppe séparément les deux pieds.

Les isolats 4 et 5 présentent sur leur face inférieure des bribes textiles très arasées, indiquant qu'il y a peut-être eu un autre tissu, trop décomposé, entre ao et le corps (représenté par les os des pieds).

Sous la couche inférieure de tissu ao se trouvait une épaisse couche de poussière de nature indéterminée. L'ensemble reposait sur une fourrure (ap) figurant à plat sur le fond du sarcophage, repliée vers le dessous au contact du bord conservé du sarcophage. Rien n'indique que cette fourrure s'étendait ailleurs que sous les pieds du défunt. Au MEB, la fibre est entièrement recouverte d'une gangue de poussière qui semble collante. Il ne fait cependant aucun doute qu'il s'agit de poil animal.

Enfin, le tissu ak déjà évoqué était situé sous la fourrure.

Malgré la forte perturbation de cette sépulture, la quantité des textiles et la présence de soie confirment le statut social du défunt.

Textile	Type textile	Synthèse qualité	Interprétation textile	Stratification
Ak	sergé 2 lie 2	*	architecture	al > am > an > ao > corps > ap > ak
Al	taffetas	***	vêtement? probablement en soie	
Am	toile	*	vêtement? végétal	
An	tissu	*	sous-vêtement?	
Ao	sergé 2 lie 2	*	enveloppe sous les vêtements : bandes molletières?	
Ap	fourrure		architecture	

Figure 3 Qualité et interprétation des restes textiles observés dans le sarcophage US 1244.

Cette fouille en laboratoire a donc démontré l'importance de la conservation des restes organiques malgré leur faible visibilité sur le terrain (**fig. 4**). Il en va pour ce cas précis également de même pour les ossements, passés inaperçus lors de la phase de terrain en raison de leur état de dégradation.



Figure 4 Le sarcophage US 1244 en début de fouille. © D. Henri.

Les textiles de Brandes-en-Oisans (Huez, Isère, XII^e-XIV^e s.), un cas de textiles organiques

Brandes-en-Oisans (Huez, Isère, France) était une agglomération minière implantée directement sur un filon de plomb et cuivre argentifères, du XII^e au XIV^e siècle. Les fouilles contemporaines ont été menées dès la fin des années 1970, notamment par Marie-Christine Bailly-Maître (UMR 7298, LA3M, Université Aix-Marseille/CNRS; Bailly-Maître, 2008, p. 14). Plus de 1 550 fragments de textiles ont été découverts sur 22 secteurs de fouille. Ceux-ci sont surtout des installations et des quartiers industriels ainsi que des habitations. Un article, publié en 2015, donne les résultats d'une étude de plus de 400 fragments provenant d'un atelier de lavage du minerai dans le quartier industriel ouest, le secteur B102. Certains textiles avaient conservé leurs décors de bandes rouges, leurs fils de broderies/coutures et/ou leurs traces de coupe (Retournard, 2015). Désormais, le corpus total des textiles de Brandes-en-Oisans constitue l'objet principal de la thèse d'Emeline Retournard, menée à l'université Clermont-Auvergne sous la direction de Catherine Breniquet.

Les textiles ont gardé leur forme souple et la taille des échantillons varie (fig. 5). L'humidité du sol et l'absence d'oxygène ont joué un rôle important dans le processus de conservation. Une partie du corpus a été restaurée par Véronique de Buhren (musée des Tissus de Lyon) et ses stagiaires, dont Audrey Eberlé – qui a travaillé sur le sujet pour un mémoire professionnel à l'université de Bourgogne (Eberlé, 2010) – en 2006, 2009 et 2010. Cependant, la majorité des textiles trouvés en fouille n'a pas été restaurée. Les fragments, principalement des sergés 2 lie 2 en laine, sont tous recouverts d'une couche de sédiment séchée plus ou moins épaisse. L'analyse des textiles est alors plus complexe, voire impossible, lorsque l'épaisseur de cette couche est trop importante : les informations recherchées (sens de torsion des fils, etc.) ne sont pas accessibles. La restauration a permis d'enlever cette couche de sédiment sur une petite partie des textiles, mais la mise à plat des fragments a fait disparaître les plis pouvant être significatifs.

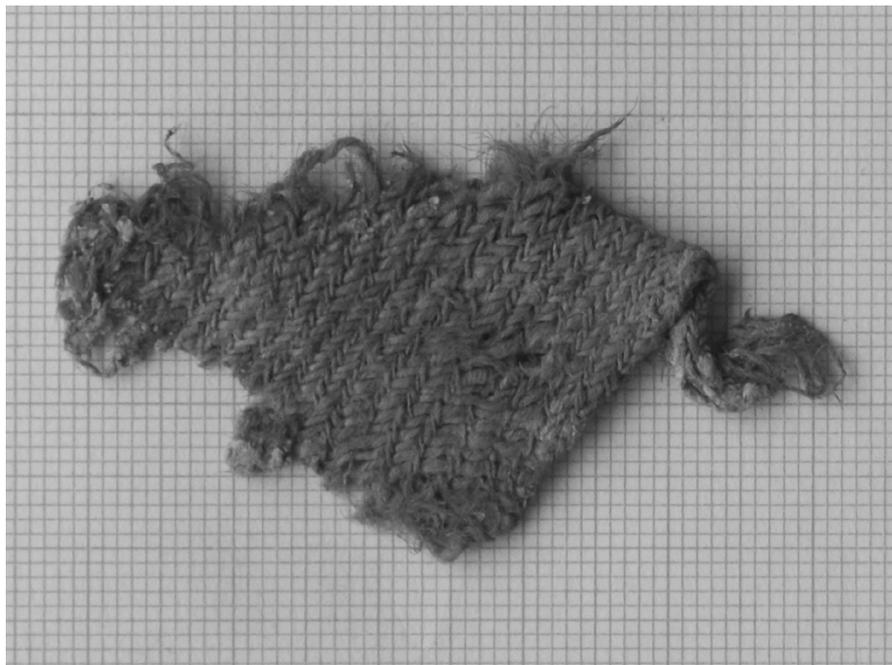


Figure 5 Exemple de sergé 2 lie 2 découvert à Brandes-en-Oisans.
© E. Retournard.

Conclusion

L'étude des textiles archéologiques révèle de nombreuses informations. Elle peut préciser, affiner ou vérifier le contexte de découverte et, parfois, le dater. Les informations mises au jour donnent des indices sur le statut social de leur porteur ainsi que des indices sur leur production : locale ou importation de régions plus ou moins éloignées, sophistication, prix, etc. L'analyse des textiles permet enfin d'affiner l'histoire des techniques et l'histoire du vêtement.

L'étude des textiles anciens est une discipline encore peu connue en France mais qui se développe de plus en plus, tout comme le nombre de chercheurs travaillant sur le sujet. Le plus petit fragment de textile peut se révéler être une source riche pour l'archéologie et l'histoire. La collaboration étroite entre restaurateurs et spécialistes nous offre l'accès à un nombre croissant de ces informations.

Références bibliographiques

Bailly-Maître M.-C. (2008), *Une aventure minière : Huez et l'argent au Moyen Âge. L'argenteria de Brandis*, musée d'Huez et de l'Oisans.

Eberlé A. (2010), *Étude du bâti médiéval : approche concernant l'utilisation des pierres à bossage dans la construction des édifices religieux; Traitement de fragments de textiles issus du site médiéval de Brandes-en-Oisans (Isère) : approche des traitements de base des textiles archéologiques*, mémoire de maîtrise, université de Bourgogne, Dijon, 2 volumes.

Moulhérat C. (2001), *Archéologie des textiles protohistoriques. Exemple de la Gaule celtique*, thèse de doctorat, université de Paris 1 - Sorbonne.

Retournard E. (2015), « Archaeological textiles from an ore-washing workshop in the French-Alps », *Archaeological textiles review*, n° 57, p. 75-88.

Les auteurs

Delphine Henri archéologue spécialiste des textiles, chercheur associé au LAT, UMR CITERES, delphine.henri@laposte.net

Emeline Retournard doctorante en archéologie, spécialité textile, université Clermont-Auvergne, centre d'histoire « Espaces et Cultures » - EA 1001, 4, rue Ledru - 63 000 Clermont-Ferrand, emeline.retournard@gmail.com

ARCHÉOLOGIE DU CONTEMPORAIN : QUAND LE CUIR ET LE PLASTIQUE SE RENCONTRENT

Julia Becker, Gwenola Corbin, Gwenaël Lemoine, Charlène Pelé-Meziani

Résumé Une chaussure de marque Michelin, un brodequin britannique, un fragment de lanière et des lunettes de protection composés de cuir, métal et plastique, ont été déposés au laboratoire Arc'Antique en septembre 2015 pour conservation. Une démarche de collaboration s'est imposée entre un analyste et des restaurateurs des matériaux organiques, des plastiques et des élastomères. Le protocole usuel de conservation du cuir est une imprégnation au polyéthylène glycol (PEG) 400 suivi d'une lyophilisation ou d'un séchage lent contrôlé. La conservation-restauration des plastiques archéologiques étant un domaine peu exploré, on s'oriente vers les recherches sur la consolidation des élastomères du patrimoine historique. Le recours à la spectroscopie infra-rouge et à la microscopie électronique à balayage est indispensable pour aider aux choix des traitements de conservation. Notre étude sur les élastomères a permis de relever deux défis, la stabilisation d'un matériau plastique gorgé d'eau par un séchage adapté, et sa consolidation après séchage.

Introduction

Les objets proviennent de la fouille des vestiges du camp de prisonniers de La Touchelais, sur la commune de Savenay (ouest de la Loire-Atlantique). Une première phase (1939-1940), attribuée à l'armée britannique, est caractérisée par une batterie de quatre fours en brique et des constructions sur poteaux de type hangar. À l'arrivée des troupes allemandes, La Touchelais devient un camp de prisonniers de guerre pour soldats français (*Frontstalag*), essentiellement destiné aux contingents issus des colonies. Il est caractérisé par un réseau d'assainissement, des aménagements pour l'hygiène des prisonniers et un hôpital militaire. Le camp fait partie des 22 *Frontstalags* existant pendant la période de l'occupation allemande en France, et c'est le premier à faire l'objet de fouilles.

Les objets de Savenay sont composés de cuir, métal et plastique (**fig. 1**). Ces dernières années, la découverte en contexte archéologique de mobilier contemporain composé de matériaux modernes confronte le conservateur-restaurateur à de nouvelles problématiques de conservation. Quels polymères constituent ces objets? Quel est leur état de conservation? Comment les conserver? Le traitement de conservation du cuir est-il compatible avec celui des matériaux plastiques dans le cas d'objets composites?



Figure 1 N° AA 2016.192 Lunettes de protection / « masque à gaz » (MOG.3111.0009), N° AA 2016.193 Semelle cloutée de marque française et fragments (OG.3273.0011, N° AA 2016.194 Extrémité de lanière (MOG.3273.0016), N° AA 2016.195 Brodequin britannique (MOG.3273.0017).

Présentation des objets

2016.192 : MOG.3111.0009 Lunettes de protection ou masque à gaz en caoutchouc et viseur en mica (lunettes de protection)

Les lunettes (M.OG.3111.0009) sont issues des niveaux de démolition localisés à l'angle NO du bâtiment 3 de l'hôpital. Elles correspondent à la partie faciale et sont composées de deux protections oculaires ou viseurs en papier mica, montées sur un tissu caoutchouté étanche aux gaz. Un numéro « 40 » au revers de la monture nous indique la fabrication sérielle (numéro du type, de la taille?). Elles semblent appartenir au type ANP (appareil normal de protection), modèle 1931 (d'après Vincent Tessier, INRAP; information Antoine Le Boulaire, INRAP).

2016.193 : MOG.3273.0011 Semelle cloutée en caoutchouc de marque française et fragments de cuir

La chaussure (M.OG.3273.0011), pied droit, est à moitié lacunaire; elle comprend le semelage : semelle première, semelle d'usure, talon et bonbout avec réparation, et des fragments de tige : un quartier encore solidaire du semelage, la languette et un fragment de claque désolidarisés, ainsi que 4 petits fragments de cuir détachés. La semelle d'usure porte une empeigne : Footing MCC Clermont.

La semelle première semble être en cuir, la semelle d'usure avec bonbout et le talon sont en caoutchouc naturel vulcanisé selon les observations macroscopiques. L'analyse microchimique des matériaux est nécessaire avant l'intervention de conservation pour confirmer la nature des matériaux.

2016.194 : MOG.3273.0016 Extrémité de lanière en cuir

Ce fragment de lanière en cuir, en bon état mais imprégné d'oxydes de fer, porte une inscription estampée en partie illisible.

2016.195 : MOG. 3273.0017 Brodequin britannique

La chaussure (M.OG.3273.0017) provient du comblement inférieur d'un four. Il s'agit du pied gauche d'un brodequin britannique (*ankle boots*) en cuir. Il est caractéristique des fabrications produites depuis les années d'entre les deux guerres. Il comporte à son extrémité un bout rapporté et six paires d'œillets en alliage cuivreux.

La chaussure est presque complète, il manque le talon; l'avant de la semelle et le talon portent des traces de cloutage en fer et des pointes en alliage cuivreux encore en place sur la semelle. La chaussure est globalement très déformée, surtout sur l'arrière de la tige. Le cuir de la tige est en bon état mais imprégné d'oxydes de fer qui à long terme peuvent poser des problèmes de conservation (dégradations physico-chimiques et perte de souplesse). La semelle d'usure est morcelée.

Les observations macroscopiques ne suffisent pas à déterminer si la semelle d'usure est en cuir ou en caoutchouc naturel vulcanisé. Une analyse microchimique est donc nécessaire avant l'intervention de conservation.

Techniques d'analyse

La démarche analytique s'est appuyée sur deux techniques d'analyse. Des observations microscopiques de la surface des échantillons ont été réalisées à l'aide d'un microscope électronique à balayage (MEB), puis des analyses par spectroscopie infra-rouge (IR) ont permis d'identifier les différents matériaux constituant les objets.

Le MEB

Des prélèvements de 2 mm² ont été métallisés à l'or-palladium. Le MEB permet de réaliser une topographie de l'échantillon (en mode électrons secondaires) mais aussi d'en identifier les zones chimiquement hétérogènes (en mode électrons rétrodiffusés). L'appareil utilisé est un JEOL de modèle 5800LV. Le faisceau électronique utilisé mesurait 20KV à 0,3nA.

La spectroscopie infra-rouge

Cette technique nécessite un prélèvement de quelques dizaines de micromètres sans préparation préalable. La spectroscopie IR permet de mettre en évidence les groupements fonctionnels du composé. Le résultat obtenu est un spectre servant alors de « carte d'identité ». Les analyses ont été réalisées sur un spectromètre Infrarouge à transformée de Fourier modèle Vertex de marque Bruker, en micro-spectroscopie à réflexion totale atténuée. Ceci a pour avantage de s'appliquer à de petites surfaces. Les mesures ont été réalisées avec une résolution spectrale de 4 cm⁻¹, de 600 à 4000 cm⁻¹ sur une base de 100 scans pour obtenir une bonne sensibilité. Un microscope optique a été couplé à l'instrumentation IR pour préciser les zones analysées.

Résultats

Cuir : le brodequin britannique

Une première approche bibliographique a indiqué que ce type de chaussure était généralement fabriqué en cuir. Les observations MEB ont été réalisées sur la semelle d'usure, le talon et le bonbout. Ces prélèvements étaient orientés de façon à n'observer que la face « épiderme » (ou côté fleur). Un échantillon supplémentaire en coupe transversale a été réalisé afin d'observer les fibres de collagène (Karsten, 2011). Malheureusement, l'interprétation des images ne s'est pas révélée convaincante. D'après la littérature, trois caractéristiques visuelles peuvent être mises en avant pour caractériser le cuir : la présence des fibres de collagène, sans orientation particulière; les dessins laissés par les follicules pileux; une surface rugueuse ou grenue, formée de petites plaques. Mais pour les premiers prélèvements, un des paramètres différait de ceux de la littérature : soit la forme et/ou l'organisation des fibres (cf. semelle d'usure), soit la non correspondance de l'échelle (cf. talon). En revanche, l'échantillon complémentaire a présenté une topographie similaire en tout point à celle des fibres de collagène (**fig. 2**).

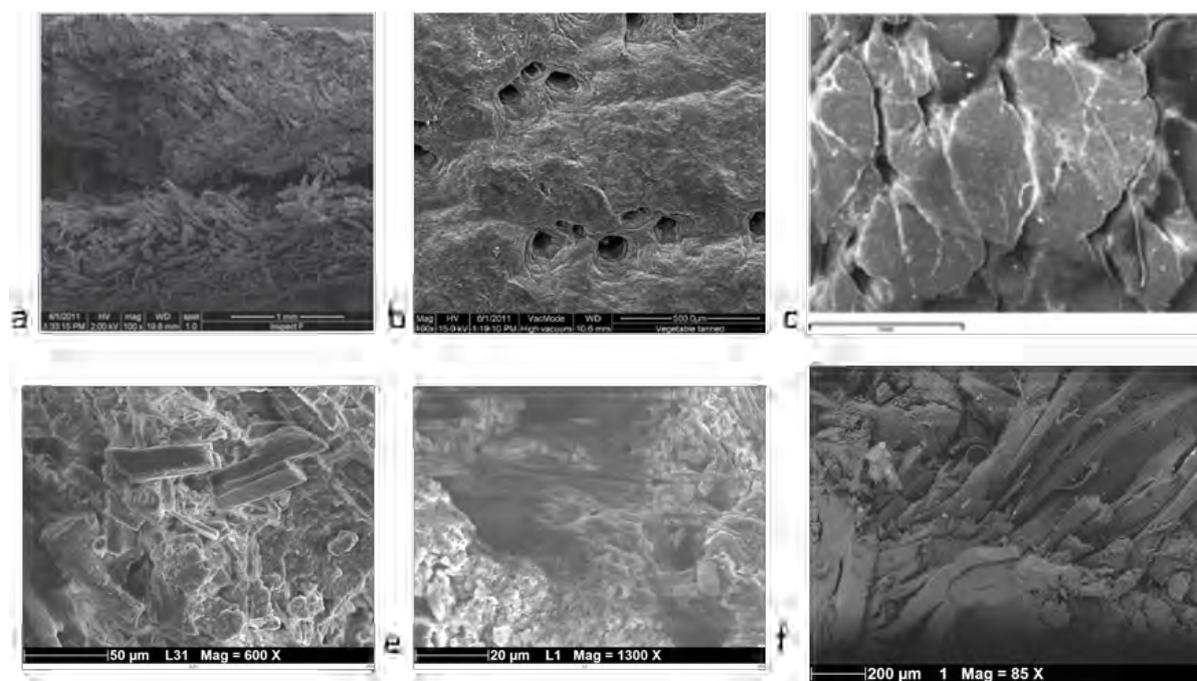


Figure 2 Clichés MEB des échantillons références, vue en coupe; a : fragment de cuir, b : cuir sans imprégnation et séché au lyophilisateur (Kartsten, 2011), c : cuir de chèvre non traité (Malea, 2010) et des échantillons du brodequin britannique; d : semelle d'usure, e : talon et f : échantillon supplémentaire.

L'analyse du cuir par spectroscopie IR doit ressortir les bandes caractéristiques des liaisons carboxyles, amides et peptidiques (Godfrey, 1990; Derrick, 1999; Malea, 2010). Afin de le vérifier, un échantillon de cuir de « référence » a été analysé puis comparé aux échantillons, confirmant que la chaussure est en cuir (**fig. 3**). Les bandes IR des échantillons sont cependant moins bien définies que celles de la bibliographie. La dégradation du matériau dans le milieu d'enfouissement peut en être la cause : la modification des liaisons chimiques entraîne

un abaissement d'intensité des bandes. Il se peut aussi que l'échantillon de référence du cuir ne corresponde pas exactement à l'espèce utilisée pour la chaussure (Mirghani, 2012).

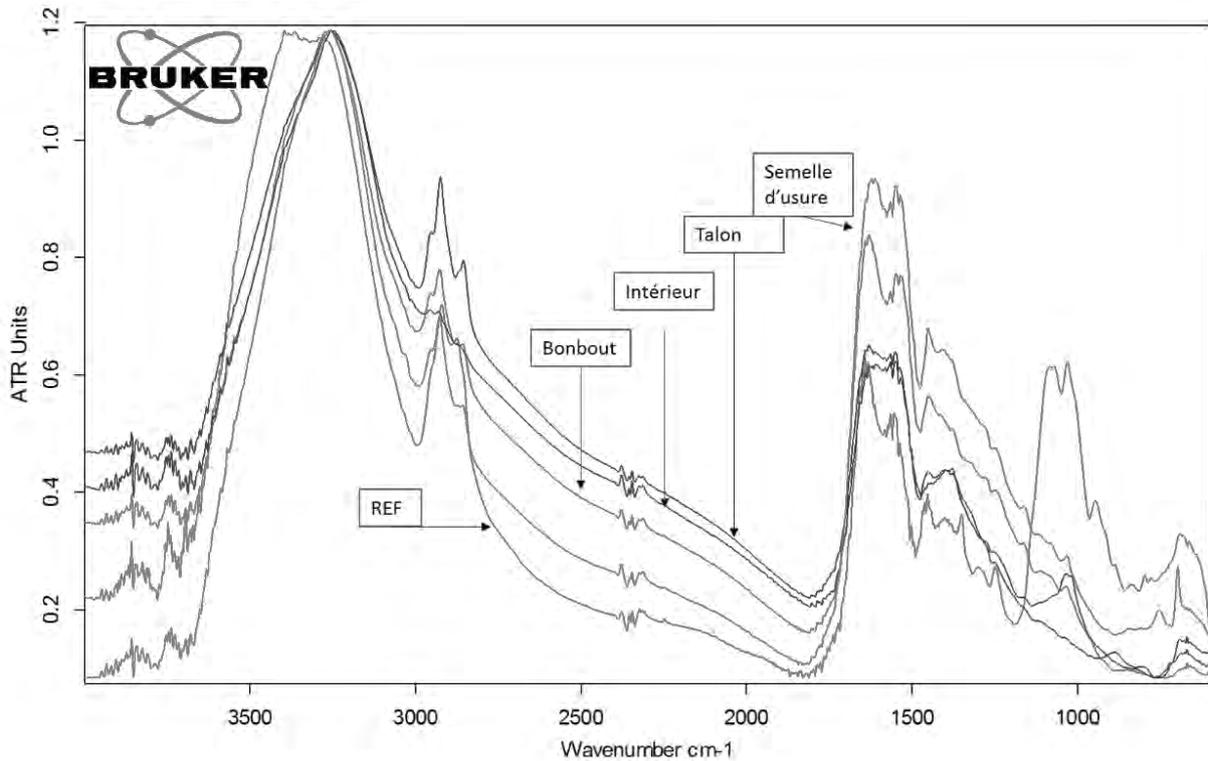


Figure 3 Résultats infra-rouge des prélèvements réalisés sur le brodequin britannique.

Plastiques : les lunettes de protection et la chaussure de marque française

Malgré pour certains un faible signal (dégradations du matériau?), les spectres IR des prélèvements de la chaussure et de l'encadrement des lunettes correspondent à un caoutchouc naturel vulcanisé de type vulcanite (Connor, 1998; Rueggeberg, 2002; Tirat, 2011; Rolere, 2015) (**fig. 4**). Ceci a pu être difficilement confirmé par les observations MEB. En effet, les données bibliographiques se sont révélées peu fructueuses en termes d'état de surface du caoutchouc archéologique dégradé; un échantillon neuf d'ébonite (ou vulcanite) a été tout de même observé afin de le comparer aux échantillons archéologiques : la structure observée au MEB est bien comparable.

Les autres parties des lunettes de protection ont aussi été caractérisées par IR. La partie fine du viseur correspond à un nitrate de cellulose. Les spectres IR de l'échantillon et celui de la référence coïncident nettement. Ce qui n'est pas le cas de la membrane. Celle-ci correspond à un composé cellulosique mais il a été difficile d'être plus précis en raison du faible signal.

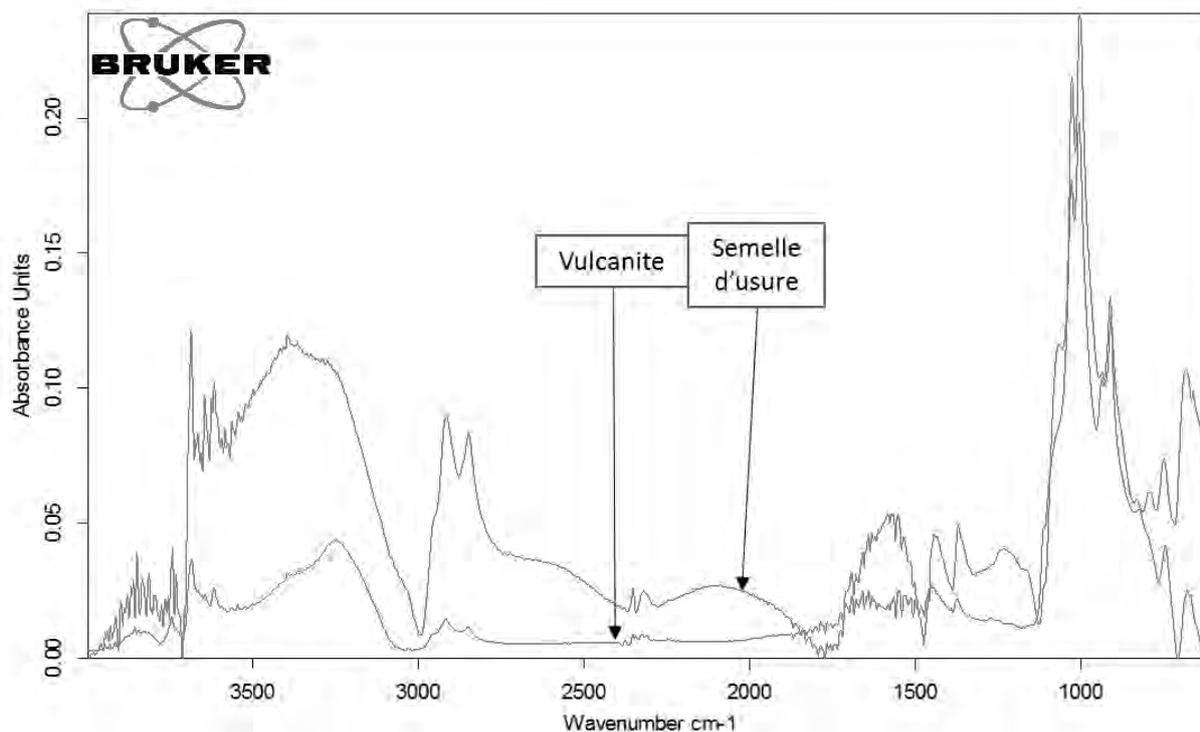


Figure 4 Résultats infra-rouge du prélèvement réalisé sur la semelle de la chaussure de marque française.

État des recherches

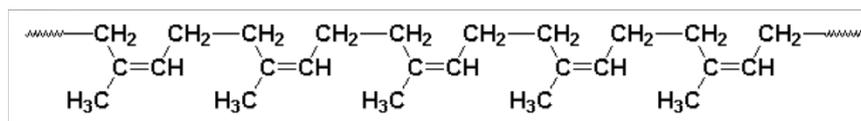
Caoutchouc naturel (NR₁)

Définition et constitution

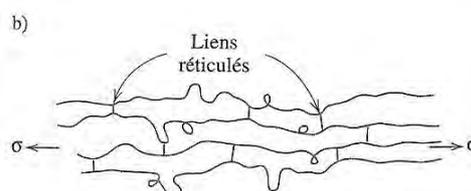
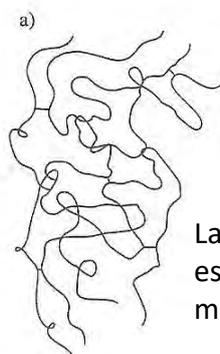
Le caoutchouc naturel est issu de plantes à latex, le plus souvent de l'*Hévéa Brasiliensis*. Il appartient à la famille des élastomères dont la caractéristique majeure est une hyperélasticité. Le caoutchouc naturel ou polyisoprène, est un polymère linéaire, insaturé (**fig. 5**). Il est formé de longues molécules enchevêtrées. Ce sont ces nœuds physiques, qui permettent le retour à l'état initial après étirement. Lorsque les molécules sont étirées, elles s'orientent dans le sens de la traction et forment des zones cristallines. Au repos, le caoutchouc est amorphe. Pour améliorer sa résistance à la déformation, on réalise une vulcanisation² : la molécule est réticulée par pontage des chaînes à l'aide d'atomes de soufre.

¹ NR = Natural Rubber.

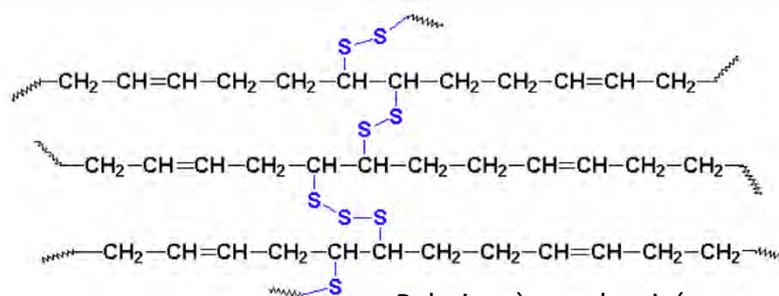
² La vulcanisation du caoutchouc naturel a été mise au point par Charles GOODYEAR en 1839.



Polyisoprène (macromolécule insaturée)



La haute déformabilité du caoutchouc naturel est permise par l'enchevêtrement de ses longues molécules.



Polysioprène vulcanisé

Figure 5 Représentation schématique de chaînes moléculaires réticulées d'un polymère : a) en l'absence de contrainte; b) durant une déformation élastique résultant de l'application d'une contrainte de traction (extraite de : Callister, W. D., *Science et génie des matériaux*, Mont-Royal, Éditions Modulo, 2001, p. 434)

Altérations

Les principaux processus de dégradation du caoutchouc naturel se manifestent ainsi :

- L'oxydation est la cause majeure de dégradation du caoutchouc naturel, par formation de radicaux libres au niveau de la rupture des liaisons covalentes, qui réagissent avec l'oxygène et produisent des peroxydes (phénomène d'auto-oxydation). *Conséquences : dans un premier temps ramollissement (scission des chaînes), surface collante, puis rigidification (réticulation de la molécule), craquelures, cassures.*
- Les UV favorisent l'absorption de l'oxygène. Ils agissent au niveau des impuretés et imperfections des chaînes macromoléculaires, des insaturations, des résidus de catalyse et des hydroperoxydes. *Conséquences : efflorescence, brunissement, craquelures désorientées, surface inélastique.*
- L'ozone issu des rayonnements UV ou des contacts électriques réagit avec les doubles liaisons et provoque des scissions de chaînes. *Conséquences : craquelures profondes voire désintégration du matériau.*

- Le froid peut provoquer un durcissement du caoutchouc naturel. La mobilité des macromolécules est entravée. Une cristallisation peut se produire. *Conséquences : rigidification, cassures.*
- La chaleur peut catalyser les réactions chimiques et rendre les liaisons soufre instables, ce qui provoque des déformations permanentes.
- Généralement, le caoutchouc naturel rentre difficilement en solution, en raison de la longueur des molécules qui le composent. Néanmoins certains solvants agissent sans le dissoudre et provoquent gonflement, tensions internes, plastification temporaire, lixiviation, efflorescences.

On peut s'interroger, pour les objets qui nous occupent, sur les conséquences d'une immersion dans l'eau du caoutchouc naturel. C'est un aspect très rarement documenté dans la littérature.

Rappelons, avant toute chose, que les conséquences seront variables suivant l'état de dégradation du matériau et que, par ailleurs, le caoutchouc naturel en bon état est plutôt imperméable à l'eau.

Les informations dont nous disposons actuellement nous permettent de concevoir que les phénomènes suivants peuvent avoir lieu :

- un environnement à fort taux d'humidité favorise la présence de moisissures, l'action des polluants acides, l'ozonolyse et la photo-oxydation;
- le caoutchouc aura tendance au gonflement. L'eau provoquera des tensions. Une plastification temporaire pourra avoir lieu;
- par rapport à d'autres solvants (comme certains hydrocarbures aliphatiques ou aromatiques), il semble que la rétention de l'eau soit assez faible;
- l'eau pourra provoquer une lixiviation;
- elle pourra aussi produire une hydrolyse.

La consolidation du caoutchouc naturel

Pour le caoutchouc naturel, se pose à la fois la question de la consolidation avant séchage et la consolidation du matériau sec. Le procédé d'imprégnation d'un caoutchouc naturel vulcanisé ou d'autres plastiques au PEG n'est pas un procédé en conservation bien documenté dans la littérature, selon notre connaissance, malgré quelques échanges oraux sur l'usage du PEG sur les objets plastiques provenant des fouilles dans les années 1990. Les retours de la recherche appliquée manquent particulièrement sur la pertinence et l'estimation de l'évolution de ce traitement au PEG des plastiques. Certaines études de cas rapportées oralement mentionnent un changement de couleur en surface après le traitement. Le défi des recherches en plastique et l'avancement vers des traitements avec succès impliquent la communication interprofessionnelle sur les expériences, et notamment les *échecs*³.

Quant à la consolidation du caoutchouc naturel sec, aucune solution satisfaisante n'a été décrite dans les recherches actuelles en conservation-restauration des biens culturels.

L'une des difficultés majeures réside dans le fait que l'adhésif doit pénétrer en profondeur dans la matière, ce qui implique l'emploi d'un solvant qui fait gonfler le caoutchouc naturel avec tous les risques que cela implique, comme nous l'avons évoqué précédemment. Par

³ Cf. Conférence *Plastics : Looking at the Future & Learning from the Past*, 23rd-25th May, Victoria & Albert Museum, London, 2007.

ailleurs, la rétention d'un solvant dans un caoutchouc naturel déjà dégradé est plus longue. Ensuite, se pose de la question de la conservation d'une certaine souplesse du matériau et le risque d'un changement de l'aspect de surface après application du consolidant.

Les premiers travaux importants ont été menés par Yvonne Shashoua, au *British Museum* entre 1988 et 1990. Elle testa des plastifiants et des films protecteurs du commerce. Or ces matériaux modifient l'apparence et les plastifiants provoquent la formation d'exsudats.

Fin des années 1980, des adhésifs cellulósiques sont testés mais présentaient un pouvoir adhésif insuffisant.

François Duboisset, dans le cadre de son mémoire de fin d'études à l'Institut national du patrimoine en 2010, utilise de l'Evatane 42-60®, un copolymère vinylique (thermoplastique). L'adhésion obtenue est satisfaisante, ainsi que la souplesse de l'adhésif. Cependant, cette méthode demande une mise en œuvre assez longue et ne permet qu'une action ponctuelle et non sur toute la masse du matériau.

Protocoles d'intervention

Cuir

Les objets en cuir (la lanière MOG.3273.0016 et le brodequin britannique MOG. 3273.0017), et cuir associé à du caoutchouc (semelle MOG.3273.0011) ont été nettoyés sous l'eau, avec une brosse douce et aux ultrasons.

Le traitement de conservation communément appliqué au cuir est l'imprégnation au PEG 400 à 30 ou 33 % dans l'eau, suivi d'une lyophilisation ou d'un séchage lent contrôlé.

Les objets ont donc ensuite été imprégnés de PEG 400 à 30%. La lanière et le brodequin, en cuir, ont été congelés et lyophilisés.

Plastique

Les objets composés de matériaux mixtes demandent souvent pour leur conservation de prioriser le matériau plus important. Dans le cas de la chaussure dite de marque française MOG.3273.0011 le cuir est plus présent que le caoutchouc naturel vulcanisé du bonbout. Ne pouvant dissocier ces éléments, la décision fut prise d'appliquer un traitement similaire au cuir pour le caoutchouc. Le caoutchouc naturel passe donc également par une phase de nettoyage sous l'eau aux ultrasons avec un pinceau doux, une imprégnation de PEG 400 à 30% et un séchage lent contrôlé. En effet, il nous paraît inapproprié de congeler et de faire subir une basse pression au caoutchouc vulcanisé, au risque de le voir se rigidifier et se morceler.

Après le séchage, le bonbout de la chaussure a été consolidé par injection ponctuelle dans les strates dilatées du caoutchouc d'Evatane®42-60 (éthylène-vinyl-acetate) 5% dans le cyclohexane / 2,5% Tinuvin B75 (Duboisset, 2010). La consolidation a permis une rigidité suffisante pour la manipulation de la chaussure. Le choix du consolidant s'est appuyé sur les matériaux testés dans les recherches antérieures pour le caoutchouc naturel vulcanisé, par contre la compatibilité avec le traitement au PEG reste à tester.

Dans le cas des lunettes MOG.3111.006, il s'agit d'un objet composé de plusieurs plastiques : du caoutchouc naturel vulcanisé pour la monture, du nitrate de cellulose⁴ pour le doublon du viseur mica, de l'acétate de cellulose et des membranes. Le caoutchouc naturel vulcanisé présente un état très avancé de décomposition. L'objet est très sale. Un premier nettoyage est préconisé sous l'eau avec un pinceau doux aux ultrasons. Les viseurs sont protégés lors du nettoyage aux ultrasons car le plastique est trop rigide et l'ultrason peut causer des marques en surface. Les viseurs sont nettoyés à l'aide d'eau et des éponges microporeuses en PVA utilisées pour le nettoyage des plastiques de surface très lisse.

Imprégné d'eau, le caoutchouc reste élastique. Par contre, une fois séché il devient très cassant et se rétracte. L'objet est conservé après le nettoyage général dans l'eau osmosée en attendant le traitement de consolidation (fig. 6).

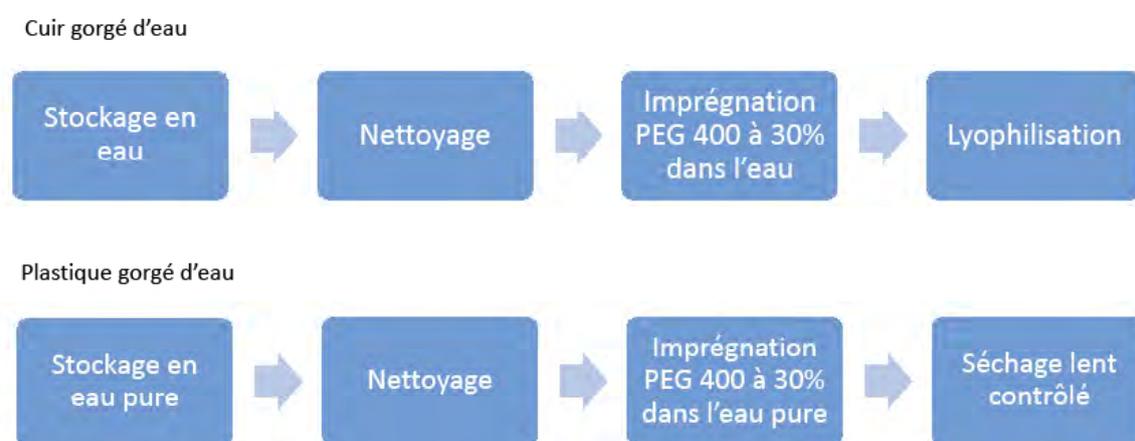


Figure 6 Protocoles de traitement des cuirs et plastiques gorgés d'eau.

Différents tests sont conduits sur des échantillons de caoutchouc⁵ pour réaliser une imprégnation soit avec du PEG soit avec un consolidant, ainsi que le relevé de perte de masse avant / après traitement. Par contrainte de temps, les tests effectués ne sont pas exhaustifs. Un test d'imprégnation au PEG 400 à 30 % d'un échantillon de la taille de 5 mm permet de constater que le caoutchouc reste élastique après le séchage non contrôlé. La vérification sous MEB entre l'échantillon non traité et l'échantillon traité au PEG montre une structure fibreuse du caoutchouc après l'imprégnation.

Un test de consolidation n'a pas été réalisé car les différents consolidants habituellement utilisés s'appliquent uniquement sur un caoutchouc sec⁶. Néanmoins, après les premiers résultats obtenus pour l'imprégnation d'un caoutchouc gorgé d'eau, l'usage du PEG 400 semble donner de bons résultats mais nécessite une recherche scientifique plus approfondie.

⁴ IR et spot-test à base de diphenylamine <http://canada.pch.gc.ca/eng/1439925171136> (consulté le 15/3/17)

⁵ Les échantillons proviennent de particules de caoutchouc non localisées sur l'objet.

⁶ La recherche en conservation-restauration est très peu développée sur les caoutchoucs gorgés d'eau.

Préconisations pour une conservation inhibitive⁷

Les objets plastiques sortant de fouilles nécessitent une conservation dans une atmosphère anaérobie. Pour les objets gorgés d'eau la préconisation pour le stockage à moyen terme entre la fouille et le traitement s'oriente vers une immersion dans l'eau ultra pure, de pH 7, avec un suivi et un contrôle régulier.

Pour les objets secs la préconisation pour le stockage à long terme est conseillée dans une pochette d'anoxie transparente avec des adsorbants d'oxygène adaptés pour la conservation des plastiques (RP-K-Système pour les artefacts organiques) combinée avec un adsorbant d'humidité (Silicagel) et un indicateur d'oxygène et d'humidité. L'objet est sorti de sa pochette uniquement pour la présentation, et après remis en atmosphère anaérobie. La température relative pour la conservation des objets se situe vers 18 °C ± 2.

Conclusion

La fouille du camp militaire allemand de Savenay (44) constitue une première expérience régionale s'intégrant dans un courant de la recherche archéologique en plein développement, l'archéologie du passé contemporain. Cette recherche complète les sources textuelles, photo- ou iconographiques de l'enquête historique.

Ces dernières années, la découverte en contexte archéologique de mobilier contemporain composé de matériaux modernes confronte le conservateur-restaurateur à de nouvelles problématiques de conservation. La période contemporaine, avec une production d'objets à l'échelle industrielle, nous confronte à des matériaux plus nombreux et variés, dont les matières synthétiques. Les objets composites organique / synthétique de Savenay ont été découverts dans un milieu gorgé d'eau et anaérobie, d'où la bonne conservation du cuir et du caoutchouc. Or les progrès en recherche de conservation-restauration des plastiques ne sont pas applicables aux plastiques gorgés d'eau. Nous avons donc dû définir le protocole de traitement de ces matériaux, ainsi que les préconisations de conservation depuis la fouille jusqu'au traitement par un laboratoire.

La méconnaissance des matériaux synthétiques nous a amenés à entreprendre une étude préliminaire : recherche bibliographique et analyses des matériaux. L'objectif premier de cette démarche analytique était d'aider les restaurateurs à identifier les différents matériaux dans le but d'orienter leur réflexion sur la restauration. Même si le but a été atteint, il est important de noter que les principales difficultés rencontrées lors de ces analyses MEB et Infrarouge ont été l'identification de nouveaux matériaux, notamment le caoutchouc. Le manque de certaines références dans une base de données peut se révéler « critique » pour finaliser une identification. De plus, les références bibliographiques sur les matériaux dégradés dans un contexte archéologique sont limitées, ce qui, par exemple, limite l'exploitation des images MEB. Enfin, le temps imparti sur cette étude devait être pris en compte, laissant à ce jour la perspective de développer une étude plus approfondie dans le cadre d'un programme spécifique.

⁷ Shashoua utilise le terme « inhibitive conservation » à la place de « preventive conservation » car les procédés lancés par la dégradation des plastiques peuvent être rarement arrêtés une fois débutés, plutôt ralentis. (Shashoua 2008, p. 193-225).

Références bibliographiques

Analyses

Derrick M.R. et al. (1999), *Infrared spectroscopy in conservation science*, Los Angeles, The Getty conservation institute.

Connor S. A. (1998), *Chemical and physical characterization of the degradation of vulcanized natural rubber in the museum environment*. PhD submitted to the department of Art, Queen's University, Canada.

Godfrey I.M. et al. (1990), « Analysis of waterlogged leather using Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy – A preliminary study », *AICCM Bulletin*, vol. 16, n° 3, p. 73-84.

Kartsten A. et al. (2011), « A comparative study to evaluate different treatment and drying techniques for wet archaeological leather. Archaeological conservation report », *Research report series*, n° 70.

Malea E. et al. (2010), « Cleaning of tanned leather : testing with infra-red spectroscopy and SEM-EDAX », *Proceedings of the Joint Interim-Meeting of five ICOM-CC Working Groups*, Rome, ICOM-CC.

Mirghani M. et al. (2012), « Rapid authentication of leather and leather products », *Advances in Natural and Applied Sciences*, vol. 6, n° 5, p. 651-659.

Rolere S. et al. (2015), « Investigating natural rubber composition with Fourier Transform Infrared (FT-IR) spectroscopy : a rapid and non-destructive method to determine both protein and lipid contents simultaneously », *Polymer Testing*, n° 43, p. 83-93.

Rueggeberg F.A., (2002), « From vulcanite to vinyl, a history of resins in restorative dentistry », *Journal of prosthetic dentistry*, vol. 87, n° 4, p. 364-379.

Tirat S. (2011), *Caractérisation des matériaux de l'art contemporain et de leurs dégradations. Identification et caractérisation de l'état de dégradation des caoutchoucs présents dans les œuvres d'art et objets du patrimoine*, mémoire de l'École nationale de chimie de Paris, CICRP.

Plastiques

Lavédrine B., Fournier A., Martin G. (ed.) *Préservation of plastic artefacts in museum collections*, Paris, Comité des travaux historiques et scientifiques POPART, <http://popart-highlights.mnhn.fr> (consulté le 8/1/2019).

Waentig F. (2009), *Plastics in Art*, Petersberg, Imhof Verlag.

Shashoua Y. (2008), *Conservation of plastics, materials science, degradation and preservation*, Heidelberg [u.a.], Butterworth Heinemann.

Van Oosten T. et al. (2002), *Plastics in art, history, technology, preservation*, Cologne, university of Applied sciences publications.

Caoutchouc

Corbin G. (2010/2011), *Les caoutchouc dans les collections patrimoniales – Identification et processus de dégradation*, Paris, CNAP.

Datta R. N. et al. (2007), « Rubber vulcanizates, degradation and stabilization », in *Rubber chemistry and technology*, vol. 80, n° 3, juillet-août 2007, p. 436-480.

Datta R. N. et al. (2003), « A novel slow release antidegradant for the rubber industry » in *Kautschuk Gummi Kunststoffe*, vol. 56, n° 6, juin 2003, p. 310-315.

Dubois F. (2010), *Modernisme américain : un fauteuil MAA de George Nelson, 1958. Étude, consolidation et protection de caoutchouc naturel*, mémoire INP.

Huntink N.M. (2003), *Durability of rubber products. Development of new antidegradants for long-term protection*, https://www.utwente.nl/en/et/ms3/research-chairs/ete/research/previous-projects/diss_niko/ (consulté le 15/3/2017).

Nadal L.F. (1996), « Prehispanic rubber balls : conservation and deterioration in the archaeological context », *Congresso ABRACOR, Pesquisas e Técnicas - Materiais Arqueológicos e Etnográficos*, Rio de Janeiro, Associação brasileira de conservadores restauradores de bens culturais p. 293-298.

Remerciements

Nous remercions Antoine Le Boulaire (INRAP, Grand Ouest) de nous avoir donné l'opportunité de mener cette étude sur les objets qu'il nous a confiés pour traitement, ainsi qu'Aurélia Lechelon (musée de Michelin, Clermont-Ferrand) et Laurence Pissard (musée international de la Chaussure, Romans) pour les informations qu'elles ont bien voulu partager avec nous.

Un grand merci aussi à Nicolas Stephant et son équipe (service MEB de l'IMN Jean Rouxel, Nantes) pour les clichés MEB ainsi qu'à Jean-Yves Mevellec pour sa disponibilité (service Spectroscopie de l'IMN Jean Rouxel, Nantes).

Les auteurs

Julia Becker conservatrice-restauratrice des objets en bois et en matières plastiques, Nantes (44), beckerjulia@laposte.net

Gwenola Corbin conservatrice-restauratrice d'œuvres peintes, conservation préventive, Ploneour Lanvern (29) gwenolacorbin@hotmail.com

Gwenaël Lemoine* conservatrice-restauratrice de matériaux organiques, Grand Patrimoine de Loire Atlantique, Laboratoire Arc'Antique, 26 rue de la Haute Forêt, 44300 Nantes gwenael.lemoine@loire-atlantique.fr

Charlène Pelé-Meziani ingénieur d'étude, Grand Patrimoine de Loire Atlantique, Laboratoire Arc'Antique, 26 rue de la Haute Forêt, 44300 Nantes charlene.pele-meziani@loire-atlantique.fr

*Auteur auquel doit être adressée la correspondance.

REGARDS CROISÉS SUR LA RESTAURATION D'UN LOT DE VASES MINIATURES MÉTALLIQUES DÉCOUVERTS À L'ÎLE DE SAÏ (SOUDAN)

Mélanie Cressent, Aymeric Raimon

Résumé Au cours de la mission d'octobre à décembre 2015 du Qatar-Sudan Archaeological Project (QSAP) à l'île de Saï (Soudan), des vases miniatures en bronze datant de la XVIII^e dynastie égyptienne ont été restaurés en priorité. Découvert par l'équipe lilloise du Professeur Jean Vercoutter en janvier 1973 dans la nécropole élitaires du Nouvel Empire (SA.C.5), ce nécessaire à libation et à purification présentait un état de corrosion extrême.

Cette communication présente la collaboration entre le restaurateur et l'archéologue qui a permis d'optimiser la restauration de ces objets, notamment dans la restitution de leurs formes et de leurs volumes, et d'enrichir leur connaissance par la mise au jour d'inscriptions hiéroglyphiques, jusqu'alors insoupçonnées, révélant le titre et le nom de leur propriétaire.

L'île de Saï se situe au nord du Soudan, entre la deuxième et la troisième cataracte du Nil, à environ 750 km au nord de la capitale du pays, Khartoum. C'est l'une des plus grandes îles du Nil soudanais, avec quelques 5 km d'est en ouest sur 12 km du nord au sud, et l'un des sites archéologiques les plus denses de la Nubie soudanaise. En effet, son occupation quasi ininterrompue du Paléolithique à nos jours, par des groupes humains de culture nubienne ou égyptienne, contemporaines ou successives, ont fait de cet ensemble un remarquable témoin de l'histoire de son peuplement.

Longtemps restée inconnue en raison de son éloignement et de la difficulté d'y accéder, ce n'est qu'au début du XIX^e siècle que les explorateurs signalèrent l'existence de vestiges archéologiques sur l'île de Saï.

Les recherches archéologiques y débutèrent en 1954, sous la direction de l'égyptologue Jean Vercoutter (1911-2000), pour le compte de l'université de Lille¹. Au cours de la campagne 1971-1972, l'équipe française y découvrit une nécropole située à 1400 mètres au sud de la forteresse ottomane, construite sur la partie sud de la ville pharaonique. La nécropole élitaires égyptienne SA.C.5 – sigle signifiant « Saï, cimetière n° 5 », c'est-à-dire le cinquième cimetière

¹ Jean Vercoutter dirigea la concession de 1954 à 1956, puis de 1969 à 1981, année de sa retraite. Les fouilles reprirent en 1985 sous la responsabilité de Francis Geus, alors maître de conférence à l'université Charles-de-Gaulle – Lille 3, jusqu'à son décès prématuré survenu le 12 janvier 2005. Didier Devauchelle, en qualité de professeur à Lille 3, assura alors la responsabilité administrative du chantier et confia les fouilles à l'archéologue Yves Lecoq en 2005, puis à Florence Doyen, collaboratrice scientifique de l'Université libre de Bruxelles, de 2006 à 2012. Enfin, Vincent Francigny, actuel directeur de la SFDAS (Section française des antiquités du Soudan), déjà responsable des travaux archéologiques sur les monuments d'époque méroïtique de l'île de Saï, en a repris la direction en 2015.

découvert sur l'île – est implantée sur une terrasse, au sud d'un *ouadi*, et s'étend sur environ 300 m du nord au sud et 110 m d'est en ouest.

Cette nécropole fut vraisemblablement fondée sous le règne du pharaon Thoutmosis III, durant lequel d'importantes installations furent effectuées dans la ville comme celle du temple. Elle fut en activité jusqu'à la xx^e dynastie, mais de nombreuses tombes furent ensuite réoccupées. Les structures des tombes – à savoir des hypogées à puits et à caveaux présentant pour la plupart des superstructures à pyramide –, l'inhumation en décubitus dorsal et la grande qualité d'exécution de certains objets qui y ont été découverts laissent à penser qu'il s'agissait d'un cimetière élitairé vraisemblablement réservé aux responsables de l'administration égyptienne et à leurs familles, même si la population de ce cimetière était probablement constituée en partie de colons égyptiens et de nubienés égyptianisés. Elle compte à ce jour vingt-six tombes, fouillées pour la plupart par Anne Minault-Gout et Florence Thill, qui publièrent en 2013 une monographie consacrée au site².

Une grande partie du mobilier provenant de la nécropole SA.C.5, ainsi que des autres sites de l'île de Saï, est toujours conservée sur place³.



Figure 1 Photographie aérienne du secteur sud-est de la nécropole SA.C.5. La flèche sur le cliché localise la tombe 5, pour laquelle aucun reste de superstructure n'a été trouvé. Un peu plus au nord, à l'extrémité gauche du cliché, on aperçoit les tombes 8 et 9 dont les superstructures en briques crues ont été restaurées par Irène Garcia Alonso et Gemma Torra i Campos au cours de la même campagne.

© Th. Nicq, QSAP – Saï, Halma – UMR 8164.

² Voir (Minault-Gout, Thill, 2012). Concernant la dernière tombe découverte à Saï (T26), en cours de fouilles, consulter le blog *AcrossBorders* (ERC starting grant project *AcrossBorders*) de J. Budka.

³ Les plus belles pièces ont été transférées au Sudan national museum à Khartoum. Quelques objets ont été offerts à la France et sont conservés au palais des Beaux-Arts de Lille, ainsi qu'au musée du Louvre.

Dans le cadre du *Qatar-Sudan Archaeological Project* (QSAP), dont le but est de favoriser la valorisation des sites archéologiques au Soudan, la mission archéologique française de l'île de Saï⁴, rattachée au laboratoire Halma (UMR 8164) de l'université Lille 3, a pu mener d'importants travaux de conservation, restauration et inventaire dans les réserves de la mission archéologique. Au cours de la mission qui s'est déroulée du 24 octobre au 17 décembre 2015, des vases miniatures métalliques datant du début ou du milieu de la XVIII^e dynastie, altérés en profondeur en raison de leur état de corrosion extrême, ont été restaurés (Cressent, Raymon, 2016). Ce nécessaire à purification et à libation a été trouvé dans le caveau de la tombe 5 (fig. 1), située dans le secteur sud-est de la nécropole, le 18 janvier 1973, par l'équipe du professeur Jean Vercoutter (fig. 2). La restauration des vases a non seulement permis de leur redonner forme, mais aussi de mettre au jour des inscriptions hiéroglyphiques, jusqu'alors insoupçonnées, sur la plupart d'entre eux.



Figure 2 Le lot de huit vases miniatures métalliques peu de temps après sa découverte. De haut en bas, de droite à gauche : un haut bassin (SAC5.T5.C41, inv. S. 1015d), un support de jarre (SAC5.T5.C43, inv. S. 1015e), une passoire (SAC5.T5.C44, inv. S. 1015f), deux vases-*nmst* (SAC5.T5.C37 et SAC5.T5.C39, inv. S. 1015a) encadrant une coupelle (SAC5.T5.C40, inv. S. 1015c), et deux vases-*dšrt* (SAC5.T5.C38 et SAC5.T5.C42, inv. S. 1015b). © J. Vercoutter.

⁴ Directeurs du projet QSAP – Saï : de 2013 à 2015, Didier Devauchelle (professeur à l'Université Lille 3, Halma – UMR 8164); depuis 2015, Vincent Francigny (directeur de la section française de la direction des Antiquités du Soudan, directeur de la Sai island archaeological mission (SIAM) depuis 2015, Halma – UMR 8164).

Les traitements de conservation-restauration appliqués

Avant notre intervention, ces vases présentait un mauvais état de conservation, notamment une fragmentation importante. En effet, nous avons dénombré quatre-vingt-cinq fragments, répartis dans neuf sachets, chacun d'entre eux étant recouvert d'une couche de corrosion du cuivre présentant la stratigraphie suivante : un noyau métallique, parfois absent; une couche de corrosion épaisse et dense, mélange de carbonates et d'oxydes de cuivre et, en surface, une couche poudreuse de couleur vert clair (**fig. 3**).



Figure 3 Le vase-dšrt SAC5.T5.C42 avant traitement : l'objet est fragmenté et couvert d'une couche de corrosion dense de cuivre. © A. Raimon.

Cette dernière était particulièrement alarmante, puisqu'elle indiquait un processus déjà bien avancé de corrosion active pouvant se solder par la disparition complète du métal sain, donc de l'objet. Certains fragments n'étaient constitués que d'un amas de poudre se désagrégeant à la moindre manipulation. De plus, les traitements de conservation-restauration que nous avons opérés sur ces objets ont révélé un important réseau de fissures et de craquelures, ne faisant qu'accroître leur fragilité.

La documentation archéologique nous a permis d'affiner ce constat d'état et d'orienter au mieux le protocole de traitement. Une prise de vues faite par Jean Vercoutter en sortie de fouille (**fig. 2**), publiée dans l'étude du site SA.C.5 et de son mobilier réalisée par A. Minault-Gout et Fl. Thill, nous a renseigné sur le nombre d'objets en présence, à savoir huit vases de six types différents, et sur leurs formes. Nous avons alors compris que certains fragments d'un même objet avaient été répartis dans plusieurs sachets et que ces objets s'étaient fortement dégradés depuis leur mise au jour en raison de l'instabilité de leur corrosion. Cette photographie nous a donc particulièrement aidé au cours de certaines étapes du traitement,

comme le remontage des fragments, mais a aussi orienté la définition des principaux objectifs, à savoir mettre au jour les données archéologiques portées par ces objets et stopper leur corrosion active.

L'état de conservation homogène de l'ensemble du lot a facilité la mise en place d'un protocole de traitement commun à tous ces objets (**fig. 4**).



Figure 4 Le lot de vases après restauration d'après la composition de Jean Vercoutter. Le vase-*nmst* SAC5.T5.C37, localisé au centre gauche de la photographie de Jean Vercoutter, n'apparaît pas sur cette photographie car il est conservé depuis 2005 au *Sudan national museum* à Khartoum et n'a, par conséquent, pas été restauré par notre équipe à Saï. © Th. Nicq, QSAP – Saï, Halma – UMR 8164.

Une recherche de contacts entre les fragments d'un même sachet a permis un remontage temporaire de chacun d'eux à l'aide de résine cyanoacrylate.

La corrosion poudreuse a été retirée par action mécanique avec une brosse en acier montée sur un micro-tour. Puis, la corrosion épaisse et dense a également été dégagée par abrasion avec un embout céramique monté sur un micro-tour. Ce traitement minutieux a été réalisé sous une loupe binoculaire. Cette étape a été particulièrement délicate car, si cette technique est adéquate pour dégager des produits de corrosion très durs, elle induit de nombreuses vibrations susceptibles d'endommager des objets aussi fragiles puisqu'après le retrait de la corrosion, les fragments ne dépassent pas le millimètre d'épaisseur.

Diverses techniques de consolidation ont été appliquées parallèlement au retrait de la corrosion, comme la consolidation dans la masse des fragments avec une résine acrylique, l'infiltration des fissures avec une résine cyanoacrylate et / ou époxy, la création d'un renfort mécanique par doublage des fragments avec du papier japon encollé avec une résine acrylique, etc.

Lorsque toutes les surfaces d'origine ont été mises au jour, les collages ont été renforcés par l'infiltration d'une résine époxy ainsi que par le comblement des lacunes structurelles avec la même résine. À l'issue de cette étape, le premier objectif de traitement était atteint.

La stabilisation du mobilier a été obtenue chimiquement par immersion des objets dans un bain d'inhibiteur de corrosion (benzotriazole).

Divers traitements de restauration ont permis de mettre en valeur la qualité esthétique des vases, tels que les comblements illusionnistes avec du papier japon ou encore l'uniformisation de l'état de surface par retouche à la peinture acrylique. Enfin, des couches de vernis acrylique et de cire microcristalline ont été appliquées afin de protéger les objets des éléments exogènes, sources d'altération.

Des inscriptions au nom d'un haut dignitaire révélées

Le retrait des différentes couches de corrosion a permis de mettre en évidence des inscriptions hiéroglyphiques, peu lisibles – notamment en raison de la difficulté à distinguer la ciselure de la simple tache de corrosion – voire incomplètes, sur cinq des sept vases restaurés. Par manque de temps, elles n'ont été observées que superficiellement au cours du processus de restauration et leur lecture a été faite à partir de clichés pris par Thomas Nicq, photographe en imagerie scientifique du laboratoire Halma (UMR 8164). Sur le vase-*nmst* SAC5.T5.C39, de faibles traces présentes sur la paroi opposée à celle sur laquelle est inséré le rivet fixant le fond à la panse indiquent qu'un texte y était ciselé. En l'état actuel, le second vase du même type (SAC5.T5.C37), qui n'a pas été restauré par notre équipe, ne semble pas en être couvert, la surface originelle n'ayant toutefois pas été atteinte. Enfin, si la coupelle SAC5.T5.C40 était inscrite, le texte devait vraisemblablement avoir été ciselé sur une portion du bord, aujourd'hui entièrement lacunaire, probablement sur la face intérieure.

Quelques détails paléographiques (**fig. 5**) nous laissent penser que ces inscriptions, dont le contenu est semblable d'un exemplaire à un autre, ont sans aucun doute été réalisées par un même scribe.

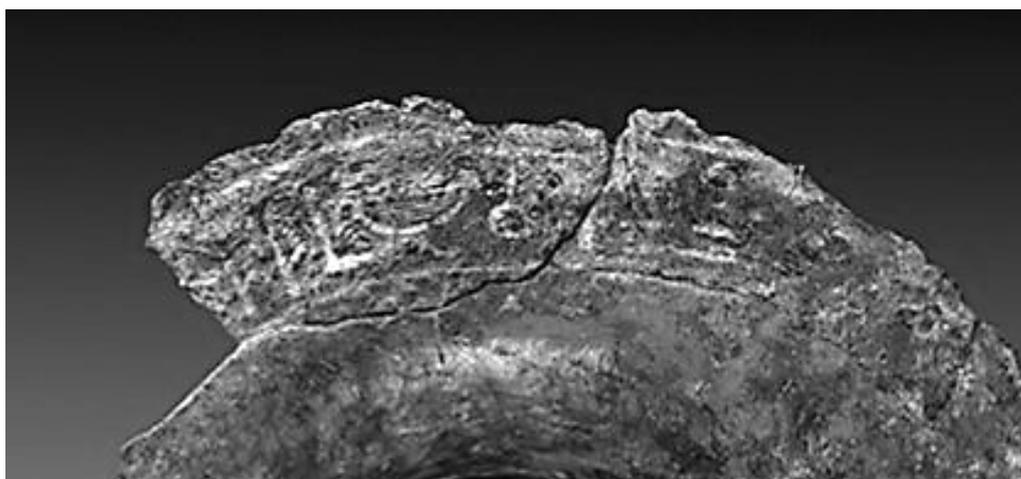


Figure 5 Inscription du haut bassin SAC5.T5.C41, la mieux conservée.

© Th. Nicq, QSAP – Saiï, Halma – UMR 8164.

En effet, le signe de la corbeille *nb* est systématiquement complété de quatre incisions horizontales (haut bassin SAC5.T5.C41, passoire SAC5.T5.C44 et vase-*dšrt* SAC5.T5.C42), la graphie singulière présente sur le haut bassin SAC5.T5.C41 étant sans aucun doute une coquille du scribe. La fleur des deux roseaux *y*, dont la forme n'est pas fermée, est quant à elle toujours détaillée de six traits obliques (haut bassin SAC5.T5.C41, passoire SAC5.T5.C44, support de jarre SAC5.T5.C43 et vase-*dšrt* SAC5.T5.C42). On observe également une certaine cohérence dans le choix de l'emplacement des inscriptions. En effet, les vases dont le type offrait une lèvre suffisamment large et plate pour la ciselure d'un texte (haut bassin SAC5.T5.C41 et passoire SAC5.T5.C44) y ont reçu une ligne de hiéroglyphes orientée vers l'intérieur de l'objet, tandis que les autres ont été ciselés d'une colonne sur la panse (vases-*dšrt* SAC5.T5.C38 et SAC5.T5.C42, vase-*nmst* SAC5.T5.C39). Le support de vase SAC5.T5.C43, aux parois concaves, fait exception puisque la ligne d'inscription figure sur la base, tout comme celle de la coupelle SAC5.T5.C40 qui devait vraisemblablement avoir été inscrite sur le bord intérieur. On remarque aussi que l'inscription du vase-*nmst* SAC5.T5.C39 a été ciselée sur la paroi opposée à celle sur laquelle apparaît le rivet fixant le fond à la panse. Quant au texte du haut bassin SAC5.T5.C41, il est parfaitement symétrique à la portion de lèvre dans laquelle l'anse a été insérée, le contenu du vase pouvant donc s'écouler sur la titulature du propriétaire et ainsi le purifier dans l'au-delà. Enfin, la constitution des quadrats⁵ est la même selon que l'inscription est répartie en ligne ou en colonne. De plus, toutes les inscriptions sont orientées vers la droite et délimitées dans leur longueur par des traits de démarcation.

La fin de l'inscription est assez bien lisible et consiste en le nom du propriétaire, qui est entièrement (haut bassin SAC5.T5.C41 et passoire SAC5.T5.C44) ou partiellement (support de jarre SAC5.T5.C43, vases-*dšrt* SAC5.T5.C38 et SAC5.T5.C42) conservé. L'écriture de ce nom est composée des signes de la corbeille *nb*, de la jambe *b* – qui a valeur de complément phonétique –, et de deux roseaux *y* (fig. 6).



Figure 6 Restitution des inscriptions hiéroglyphiques.

Un déterminatif – signe sans valeur phonétique qui précise la nature du mot – complète l'écriture du nom du personnage uniquement lorsque le texte est inscrit en ligne, la hauteur des vases n'étant sans doute pas suffisante pour la gravure de l'ensemble des signes à même échelle dans une configuration en colonne. D'après le support de vase SAC5.T5.C43, on peut penser que le déterminatif employé était peut-être celui de l'homme accroupi tenant un sceptre. Dans le début de l'inscription, la partie antérieure du lion *ḥ3t* sous lequel apparaît l'avant-bras forment le titre *ḥ3ty-ꜥ*, que l'on traduit par « prince, gouverneur ». Il est suivi d'un quadrat constitué d'un trait horizontal sous lequel apparaît un grand signe vertical – peu lisible en raison de l'état de dégradation de la matière, mais dont on a pu déduire qu'il s'agissait du signe du sceptre (S 42 de la liste de Gardiner) – et un court trait vertical placé au-dessus du signe de la ville. La présence du *n* « de » directement à la suite du titre *ḥ3ty-ꜥ* « gouverneur », ainsi que le déterminatif de la ville, laisse penser qu'il s'agissait d'un toponyme. Par ailleurs,

⁵ Le quadrat (ou cadrat) est un cadre virtuel dans lequel sont agencés les signes hiéroglyphiques, en fonction de leur forme et de leur dimension, et qui ajoute de l'esthétique à l'écriture.

on serait en droit d'attendre qu'un gouverneur inhumé à Saï ait exercé son autorité si ce n'est sur l'île, au moins sur la région. Vivian Davies propose de lire le titre « gouverneur de Sekhem », Sekhem étant peut-être le nom de la localité nubienne Semna, située à environ 120 km au nord de Saï. Nous avons également envisagé que ce titre pouvait être composé d'un terme plus général, le mot *w* « région, district » dont l'une des variantes graphiques est formée avec le signe du sceptre.

Ce haut dignitaire n'était connu jusqu'alors que par un chaouabti de très belle facture, vraisemblablement associé à un sarcophage miniature anépigraphe, découverts dans la tombe 5 de la nécropole SA.C.5. Cette sépulture ayant été fortement bouleversée par le pillage, tous ces objets ont été éparpillés dans le secteur médian du caveau, à un niveau moyen de - 1,70 m, la distance entre les deux documents les plus éloignés étant d'environ 1,75 m. L'identification du propriétaire des vases n'était pas pour autant évidente, la tombe ayant également livré le nom de deux autres défunts – le gouverneur Ipy et la chanteuse, Henout-âat –, dont les monuments ont été découverts dans le même périmètre.

Conclusion

Les différents spécialistes de la restauration et de l'archéologie sont de plus en plus amenés à travailler sur des projets communs. La collaboration qui s'est établie entre restaurateur et égyptologue dans le cadre du *Qatar-Sudan archaeological project*, autour de ce lot de vases miniatures métalliques découverts à l'île de Saï, est un exemple particulièrement révélateur de ce que des « regards croisés » peuvent apporter à la connaissance d'un objet.

La documentation a permis de mieux comprendre l'état de conservation de ces objets pour en affiner le protocole de traitement. Les échanges qui ont eu lieu au cours de la mission ont orienté certaines phases du traitement, notamment le dégagement particulièrement délicat des inscriptions hiéroglyphiques qui, alors que nous n'en soupçonnions pas l'existence avant restauration, ont révélé l'identité de leur propriétaire, un gouverneur nommé Neby.

Références bibliographiques

Cressent M., Raimon A. (2016), « Inscriptions in the name of governor Neby revealed by the restoration of miniature metal vases », *Sudan&Nubia*, n° 20, p. 28-34.

Minault-Gout A., Thill Fl. (2012), *Saï II. Le cimetière des tombes hypogées du Nouvel Empire, SAC5 (FIFAO 69)*, Le Caire, IFAO.

Les auteurs

Mélanie Cressent docteur en Égyptologie du laboratoire Halma (UMR 8164 - Lille 3).

Aymeric Raimon* conservateur-restaurateur spécialisé en mobilier archéologique et historique, 10, rue de la Sagette, 45140 Ormes
aymeric.raimon@outlook.fr

*Auteur auquel doit être adressée la correspondance.