

Rédacteur:
Christian Degrigny
christian.degrigny@gmail.com
Adjoint de rédaction:
James Crawford
jamesbcrawford76@gmail.com
& james.crawford@gov.mt

METALConsn-info



Groupe de travail Métal

Bulletin de Recherche sur la Conservation-restauration du M^Etal

Février 2007

BROME^C21

Éditorial

La majorité des résumés de ce numéro de BROME^C sont ceux des communications présentées lors de la rencontre organisée par le sous-groupe de travail AIAE (Les fers archéologiques après la fouille) le 11 octobre 2006 à Mannheim (D) dans le Musée Reiss-Engelhorn. Cette rencontre s'est tenue le premier jour de la conférence 2006 du Verband der Restauratoren (VDR) intitulée « les vestiges archéologiques en métal – de la fouille à l'exposition ». Il est apparu très bénéfique pour tous d'associer la rencontre de notre sous-groupe de travail à la conférence annuelle d'une association nationale de restaurateurs. Pour le VDR, l'association avec l'AIAE a permis d'ajouter à la conférence une journée de présentation de projets de recherche internationaux. Les membres de l'AIAE ont eu, de leur côté, de nombreux retours de la part de l'auditoire international auquel ils ont présenté leurs travaux. La plupart des résumés présentés à Mannheim seront publiés par le VDR (« Beiträge zur Erhaltung von Kunst und Kulturgut ») ou dans d'autres publications professionnelles. La majorité des présentations sont également disponibles sur les pages Métal du site de l'ICOM-CC (<http://icom-cc.icom.museum/WG/Metals/>) et le site **METALConsn**-info (<http://rsc.anu.edu.au/~hallam/METALConsn-info.html>)

Ce numéro rend également compte des résultats du projet SmartPlasma préalablement présenté dans le N° 12 de BROME^C. Le traitement, qui semble efficace sur l'argent terni, sera étudié sur d'autres matériaux dans les années à venir. La plupart d'entre vous savent que le projet européen PROMET a pour but de développer des systèmes de protection innovants sur les artefacts métalliques des pays méditerranéens. Indépendamment de PROMET, des projets de recherches nationaux ont été montés pour poursuivre l'étude de systèmes de protection prometteurs comme celui, présenté par E. Cano (Espagne), qui est basé sur l'utilisation d'extraits de plantes. Un autre résumé traite du problème délicat des incrustations de plomb dans les objets composites japonais. Le dernier résumé concerne le rôle de l'étain dans la corrosion des bronzes à l'étain constitutifs de certains artefacts. Ce nouveau projet de recherche doctoral a pour objectif de comprendre pleinement les processus de corrosion très complexes impliqués dans la formation de la patine dans un environnement spécifique.

Comme d'habitude, nous espérons que vous trouverez ce numéro utile et intéressant.

Rédacteur

Christian DEGRIGNY

Adjoint à la rédaction

James CRAWFORD

(traduit par Marie-Anne Loeper-Attia & Nathalie Richard)

Sommaire

	Page
Projets de recherche en cours	
 Fer expérimental à Fiskerton: résultats après un enfouissement de 30 mois	3
 La rouille bleue du fer – un tour d’horizon sur la formation et la stabilité de la vivianite	4
 La détérioration des artefacts archéologiques en fer : recherches locales et structurales sur les produits de corrosion contenant du chlore	5
 L’étude, la stabilisation et la restauration d’un élément en fer de grandes dimensions provenant de l’American Civil War USS <i>Monitor</i> (1862)	6
 L’effet de l’Humidité Relative (HR) sur la détérioration du fer archéologique	7
 Les effets de l’Humidité Relative (HR) sur la corrosion du fer – approche expérimentale	8
 Artefacts en fer sortant de fouille: recherches sur le potentiel du stockage en atmosphère sèche/froide et pauvre en oxygène	9
 Les artefacts déshydratés en alliage ferreux peuvent-ils être stabilisés 20 ans après leur sortie de fouille?	10
 Le (re)traitement des fers archéologiques: une nécessité ou une perte de temps?	11
 La désalinisation au sulfite alcalin – tuyaux et astuces	12
 Le projet SmartPlasma	13
Nouveaux projets de recherche	
 Des inhibiteurs de corrosion naturels pour la protection des biens culturels métalliques	14
 Recherches sur la corrosion des incrustations en plomb des objets japonais en laque	15
 Etude électrochimique de l’influence de la teneur en étain sur la formation des patines de bronzes Cu-Sn	16

Projets de recherche en cours



Fer expérimental à Fiskerton: résultats après un enfouissement de 30 mois (EH)

Des échantillons de fer moderne ont été enfouis dans la tourbe à Fiskerton, Lincolnshire (Angleterre), en décembre 2003. Ils ont servi d'analogues aux artefacts trouvés au voisinage d'une chaussée datant de l'Age du Fer. L'analyse de ces échantillons, ainsi que celle d'autres matériaux modernes également enfouis dans cet environnement, permet de s'informer sur l'état de conservation et les détériorations possibles du matériel archéologique et sur les effets de la réhumidification volontaire du site en 2004. Les caractéristiques du sol et de son eau ont également été enregistrées.

Les coupons ont été exhumés à des intervalles de 6, 12, 18 et enfin 30 mois pour les derniers sortis en juin 2006. Ils ont été analysés par diffraction des rayons X pour caractériser les produits de corrosion et le taux de corrosion a été calculé en fonction de la perte de poids. Les résultats montrent que dans la tourbe anaérobie, sous le niveau hydrostatique, les produits de corrosion sont principalement des sulfures de fer et des carbonates de fer, sidérite. Au-dessus du niveau hydrostatique, il s'agit principalement de goethite et de magnétite. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus sur les objets archéologiques exhumés en 1981 et 2001. Les taux de corrosion, cependant, augmentent tout au long de l'enfouissement expérimental, en particulier sur les coupons proches, ou juste en-dessous, du niveau hydrostatique. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que le fer moderne et propre, n'ayant pas encore développé de couche de corrosion homogène et protectrice, favorise les processus de corrosion rapide. Les données concernant l'eau du sol sont en cours de traitement et pourront peut-être mener à d'autres pistes.

Des informations complémentaires sur ce projet sont présentées dans BROMECC 10.

Contact : Vanessa Fell (EH)

Financement : sans financement externe

Projets de recherche en cours



La rouille bleue du fer : un tour d'horizon sur la formation et la stabilité de la vivianite (SABKS/UCLA)

La vivianite, $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, est un phosphate de fer minéral bleu pâle qui apparaît naturellement avec la décomposition des ossements, du bois et autres matières organiques enterrées, ainsi que sur les objets archéologiques en fer, notamment ceux qui proviennent de milieux gorgés d'eau ou de sols d'argile humide. Farrer, Biek et Wormwell (1953) concluaient que les tannates et les phosphates avaient un effet inhibiteur sur la corrosion des objets en fer enfouis en milieu légèrement acide et gorgé d'eau, alors que la décomposition bactérienne des objets en fer devrait normalement les détériorer gravement. Ils trouvèrent un mélange de phosphate ferrique hydraté, $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (très similaire à la strengite), et de vivianite, associés à des tannates de fer.

La vivianite est incolore quand elle est nouvellement créée ou extraite de mine, mais elle commence à foncer peu de temps après son exposition à l'air et à la lumière. Elle devient verte, puis bleue, puis d'un noir bleuté très foncé bien que, sur les objets archéologiques en fer, elle soit généralement bleu clair, parfois violette. À l'état pur, tout le fer est présent à l'état ferreux, mais lorsque l'oxydation commence du fer à l'état ferrique est également présent. Sa transformation peut ne pas dépasser ce stade, mais si l'oxydation se poursuit la couleur peut évoluer jusqu'au jaune du phosphate ferrique. Ceci peut aussi se produire à la sortie de fouille.

Les diagrammes de stabilité montrent que les conditions environnementales requises pour la formation de la strengite sont très oxydantes, de faible pH et en présence d'une forte concentrations d'ions phosphates. De petites quantités d'ions sulfites stabilisent la formation de pyrite sur une grande échelle de Eh ainsi que l'activité d' HPO_4^{2-} aux dépens de la vivianite et de la strengite, qui ne sont stables qu'à très fortes concentrations de phosphate.

Contacts : Gerhard Eggert (SABKS) et David Scott (UCLA)

Financement : sans financement externe

Projets de recherche en cours

La détérioration des artefacts archéologiques en fer : recherches locales et structurales sur les produits de corrosion contenant du chlore (DED-SS)

La détérioration des objets archéologiques issus de fouille terrestre est souvent associée à la présence d'ions du chlore (i.e. ions chlorure – Cl⁻) dans les produits de corrosion. Avec le changement d'environnement, la rupture brutale de l'équilibre établi pendant l'enfouissement entraîne des processus de corrosion accélérés et destructifs. Les ions du chlore, ou Cl⁻, jouent un rôle important dans ces mécanismes rendant les méthodes de désalinisation essentielles après la fouille. Ces traitements de désalinisation permettent de ralentir les processus de corrosion. Cependant, dans bien des cas, ils ne sont pas optimisés. Les limites de ces traitements sont principalement dues au peu de connaissance qu'on a des produits de corrosion à composants chlorés présents dans les objets archéologiques. Il est donc nécessaire de comprendre les mécanismes de corrosion dans le sol, en relation avec la présence de chlore. L'objectif de notre travail est de comprendre, à l'aide de techniques analytiques, la composition, la structure et la répartition des phases chlorées formées sur des échantillons archéologiques.

Les échantillons disponibles sont des coupes transversales d'objets archéologiques en fer issus de sites terrestres datant du XII^e au XVI^e s. ap. J.C.. Les artefacts ont été analysés avec des techniques classiques (microscope optique et électronique) ou plus spécialisées : micro spectroscopie Raman, micro spectroscopie d'absorption X et micro diffraction X basées sur le rayonnement synchrotron. Ceci permet d'obtenir des résultats fondamentaux en ce qui concerne la localisation et la caractérisation des phases chlorées.

Ces recherches ont souligné, à l'interface métal-oxyde, la présence de deux phases cristallines à composé chloré : l'oxyhydroxyde akaganéite βFeOOH (5-10% en masse), généralement présent dans les produits de corrosion d'objets exposés à un environnement chloré, et l'hydroxychlorure $\text{Fe}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$, plus riche en chlore (15-20% en masse). Ce résultat est important car, à notre connaissance, cette dernière phase a rarement été observée sur des échantillons archéologiques alors qu'elle est présente dans des proportions considérables sur les artefacts observés pour cette étude.

Associés à l'étude spécifique de l'influence du taux de chlore sur la structure de l'akaganéite synthétisée, ces résultats donnent un nouvel aperçu de l'influence de ces phases sur les mécanismes complexes de la corrosion du fer, à long terme et en milieu terrestre comportant du chlore. Ces résultats sont fondamentaux pour l'amélioration des méthodes de désalinisation utilisées pour la préservation des objets archéologiques en fer.

Contact : Solemm Reguer (DED-SS)

Financement : sans financement externe

Projets de recherche en cours



L'étude, la stabilisation et la restauration d'un élément en fer de grandes dimensions provenant de l'American Civil War USS *Monitor* (1862) (TMM)

Le USS *Monitor* (1862) fut le premier bateau de guerre américain complètement couvert d'un blindage de fer. Construit pour la Marine de l'Union durant la guerre civile américaine à partir des plans révolutionnaires de l'inventeur américano-suédois John Ericsson, Le *Monitor* eut une carrière brève mais glorieuse contre la Marine des Confédérés avant de couler dans une brusque tempête. L'épave du *Monitor* a été retrouvée en 1973 au large de la côte de Cape Hatteras en Caroline du Nord, à 73 m de profondeur. La gestion de l'épave et son étude sont sous la responsabilité de la US National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) par le biais du National Marine Sanctuary Program.

Depuis sa découverte, de nombreux éléments de grandes dimensions, en fer ou métal composite, ont été remontés de l'épave comme le moteur, le condensateur, l'hélice, la tourelle d'artillerie pivotante, et des canons Dahlgren. La NOAA s'est chargée de la récupération de ces artefacts en collaboration avec la Marine Nationale. Depuis 1987, ce matériel est dévolu au Mariner's Museum à Newport News, Virginie, USA. En coopération avec le NOAA, ce musée est responsable de sa conservation, de sa restauration et de son interprétation. La très grande taille, le poids et la grande complexité des objets du *Monitor* rendent la tâche rude aux restaurateurs du Mariner's Museum qui doivent les stabiliser après leur 140 ans d'immersion en eau de mer.

La réduction de la corrosion post-fouille du fer et l'extraction des chlorures préoccupent particulièrement les restaurateurs du *Monitor* qui ont collaboré avec d'autres restaurateurs, des chercheurs en conservation-restauration, des chimistes, des physiciens et des ingénieurs-corrosion pour mieux comprendre l'état des artefacts du *Monitor* et développer des stratégies afin de les stabiliser et les restaurer.

Des informations complémentaires sur ce projet sont présentées dans BROMECC 16.

Contact : Eric Nordgren (TMM)

Financement : principalement le Mariner's Museum et la NOAA

Projets de recherche en cours



L'effet de l'Humidité Relative (HR) sur la détérioration du fer archéologique (EH)

Le fer archéologique est toujours un challenge d'importance pour la communauté des restaurateurs. Le seuil de 15% d'HR découvert lors des premiers travaux de Turgoose et confirmé récemment par Watkinson est la base des principales stratégies de conservation préventive. Bien qu'on puisse, avec beaucoup d'efforts, obtenir ce taux pour un stockage en réserves, les limites matérielles et technologiques font qu'on peut rarement le maintenir dans des conditions d'exposition. Ceci pose le problème de savoir quelle est la gravité du risque si ces 15% sont dépassés. La formation de l'akaganéite est maintenant largement reconnue comme étant la principale cause (mais certainement pas la seule) de la détérioration post-fouille du fer archéologique. Le risque pour un artefact est probablement, au moins jusqu'à un certain point, déterminé par la quantité d'akaganéite formée. Des tests ont été entrepris sur des échantillons de poudre exposés à différents intervalles d'HR (avec et sans variation des concentrations d'acide acétique) sur une période de 30 mois. La proportion d'akaganéite formée lors des tests a été quantifiée par spectroscopie FTIR.

En considérant non seulement le gain de poids mais également la quantité d'akaganéite nous avons pu identifier un second seuil autour de 30%, où la formation de l'akaganéite augmente de manière significative. Ceci permet de suggérer que 30% soit une limite réaliste pour l'objectif des conditions de conservation à atteindre.

Nous nous sommes procurés des vitrines dans lesquelles ces conditions peuvent facilement être obtenues avec du gel de silice malgré un environnement très agressif à taux d'HR élevé. Ces vitrines se sont en fait si bien comportées qu'un taux de 15% a été obtenu pendant une période de six mois, mais il reste peu probable que ces résultats puissent être maintenus dans différents types de vitrines.

Contact : David Thickett (EH)

Financement : sans financement externe

Projets de recherche en cours



Les effets de l'Humidité Relative (HR) sur la corrosion du fer – approche expérimentale (TBM)

Le projet « Recherche sur la détérioration et la stabilisation du fer archéologique au British Museum » a été mené au département de Restauration, Documentation et Science. Son objectif était d'identifier les principales causes d'altération du fer archéologique dans les collections du Musée et de définir un environnement adapté pour leur stockage. Deux approches ont été privilégiées : la recherche sur la détérioration du fer archéologique et des tests expérimentaux sur les effets de l'HR sur la corrosion du fer. Les résultats doivent être publiés dans *Studies in Conservation* (2007). Un résumé des résultats est présenté ici et l'article complet sera publié dans *British Museum Technical Research Bulletin* (2007 or 2008).

De la poudre industrielle de $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ et des échantillons de fer mélangés à du $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ont été exposés à différents taux d'HR et température ambiante pendant un an. Les changements au sein de ces composés ont été documentés et analysés par microscopie, spectroscopie Raman, diffraction X et chromatographie ionique.

La poudre de chlorure s'est liquéfiée et l'akaganéite s'est formée en quelques heures à 75% d'HR et en un mois à 54% d'HR. On a également détecté en moins d'un an de l'akaganéite dans la poudre exposée à des taux d'HR inférieurs à 44%, cependant sans déliquescence. Après une semaine d'exposition à 75% d'HR, des piqûres ont été observées sur les coupons en fer testés. A 54%, elles ont été observées sous microscope au bout d'un mois et à l'œil après 6 mois. À 33% d'HR et en-deça, on pouvait à peine en voir au bout d'un an. La perte de masse des coupons après 6 mois d'exposition était d'environ 14% à 75% d'HR, de 1,6% à 54% d'HR, et de moins de 0,4% à des taux d'HR inférieurs.

Sur les échantillons de contrôle, la formation d'akaganéite indiquait que l'akaganéite trouvée sur les fers archéologiques pouvait même se former avec une très faible quantité de chlorures présents initialement dans l'objet. La morphologie et la composition de la corrosion dépendent des taux d'HR ; cependant l'état de surface des objets a également un impact. L'akaganéite cristalline allongée qu'on trouve souvent sur le fer archéologique s'est probablement formée à 50-60% d'HR, alors que les bulles d'akaganéite se sont probablement formées à des taux supérieurs. Conserver le fer à des taux d'HR inférieurs à 35% peut donc en ralentir significativement la détérioration.

Des informations complémentaires sur ce projet sont présentées dans BROMECC 16.

Contact : Quanyu Wang (TBM)

Financement : pas de financement externe.

Projets de recherche en cours



Artéfacts en fer sortant de fouille: recherches sur le potentiel du stockage en atmosphère sèche/froide et pauvre en oxygène (RCS)

L'akaganéite (βFeOOH) reste un des produits de corrosion les plus problématiques pour les artéfacts en fer tout juste sortis de fouille et cause les pertes les plus importantes sur les objets qui sèchent dans un environnement climatique non contrôlé. L'exposition des objets archéologiques en fer à des taux d'humidité relative et d'oxygène élevés déclenche cette corrosion en présence de chlorures. Sur le site archéologique, le stockage adapté des vestiges en fer est fondamental pour leur conservation à long terme et peut réduire les traitements de stabilisation. Ce travail a pour objectif d'examiner les environnements de stockage à court terme pour les artéfacts en fer tout juste exhumés jusqu'à leur traitement en laboratoire ainsi que les méthodes applicables à leur stockage à long terme.

Afin d'étudier la formation d'akaganéite dans différents environnements de stockage, des échantillons de corrosion synthétique ont été préparés avec un mélange de quantités égales en (Fe) et chlorure de fer tétrahydraté ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$). Des systèmes de stockage dans des sacs de polyéthylène re-cellables et des boîtes en polypropylène (Stewart® boxes) ont été testés. L'influence de l'addition de gel de silice et d'une basse température a également été examinée. Nous avons, de plus, accordé une attention particulière aux environnements à faible taux d'oxygène en utilisant le Revolutionary Preservation System® (RP-System®) élaboré par la Compagnie Mitsubishi Gas Chemical. Deux absorbeurs d'oxygène différents ont été évalués (RP-A et RP-K).

L'analyse des produits de corrosion a été faite par microscopie optique, Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR) ainsi que par diffraction X (DRX) et spectroscopie Raman.

Contact : Salomé Guggenheimer (RCS)

Financement : sans financement externe

Projets de recherche en cours



Les artefacts déshydratés en alliage ferreux peuvent-ils être stabilisés 20 ans après leur sortie de fouille ? (TEI)

La majorité des musées archéologiques en Grèce conservent de grandes collections d'artefacts en fer qui n'ont pas été correctement déchlorurés avant leur stockage définitif. Cependant, les problèmes rencontrés sur ces objets varient — puisque beaucoup des vestiges datés d'une même période (e.g., période Hellénistique) mais issus de sites différents sont dans un état qui va de la minéralisation complète à la présence d'un noyau métallique substantiel. Il en résulte que l'évaluation de l'état de conservation de la collection ne peut se faire sans la radiographie (RX) dans sa totalité de manière à déterminer la quantité de métal présent et la forme initiale des artefacts. Il est également nécessaire de former les archéologues (et les restaurateurs) à manipuler correctement les objets en fer pendant et après la fouille. Quoi qu'il en soit, en Grèce, la grande majorité des collections d'artefacts en fer n'a pas bénéficié de traitements de déchloruration adaptés. De plus, il est difficile de trouver dans la littérature de discussion sur l'efficacité des traitements de stabilisation pour ces objets qui ont subi un séchage post-fouille et sur lesquels l'akaganéite s'est développée.

Sous les auspices du projet PROMET du 6^{ème} plan cadre de la commission européenne, le T.E.I. d'Athènes a développé une approche visant à évaluer rapidement l'état de conservation de grandes collections d'objets métalliques avant leur traitement et plusieurs années après leur exhumation. L'objectif est d'aider les restaurateurs à faire face à ces problèmes et à comprendre quels sont réellement leurs besoins pour leurs collections de manière à ce qu'ils puissent choisir avec pertinence les traitements et les moyens de protection des objets.

Cette approche a été utilisée pour la collection des métaux du Museum of Ancient Messene en Grèce. N'ayant pas été traités correctement après la fouille, la plupart des objets en alliage ferreux montrent clairement des signes de corrosion active (e.g., formation d'akaganéite, soulèvements). Ainsi, nous ne savons pas si les méthodes de déchloruration généralement utilisées en conservation-restauration seront véritablement efficaces pour retirer les chlorures. Pour cette raison, nous avons sélectionné et immergé dans une solution de NaOH à 2% 16 artefacts en fer de formes et dimensions différentes, avec un noyau métallique substantiel. La quantité de chlorures extraite a été déterminée par des mesures potentiométriques. Au terme de l'étape de déchloruration les objets ont été stockés dans un environnement non contrôlé du musée — conditions typiques de la plupart des musées en Grèce. Nous contrôlerons l'efficacité du traitement après 6 mois.

La publication de la communication traite de la méthode d'évaluation de l'état de la collection ainsi que de l'efficacité du traitement des objets en fer ayant subi un séchage post-fouille dans des solutions de NaOH à 2%.

Des informations complémentaires sur ce projet sont présentées dans les N° 12, 14 et 16 du BROMECC.

Contacts : V. Argyropoulos, M. Giannoulaki, M. Scaramanga (T.E.I.)

Financement : Projet PROMET de l'Union Européenne

Projets de recherche en cours

Le (re)traitement des fers archéologiques: une nécessité ou une perte de temps? (ArcheoSpecialists)

Pendant longtemps, le matériel en fer a constitué une catégorie d'objets à laquelle les archéologues allemands accordaient peu d'attention. Hormis quelques exceptions, ces vestiges étaient généralement stockés dans des espaces non contrôlés climatiquement. Ceci entraînait inévitablement la poursuite des processus de corrosion et, finalement, la perte des objets — évidemment non souhaitable pour le développement des futures recherches sur les collections archéologiques d'objets métalliques. Cependant, ainsi qu'on peut le constater au sein du Dutch Standard pour la Recherche Archéologique, l'attitude change peu à peu face à ces approches irresponsables. Confrontés à la détérioration des objets en fer, les autorités responsables ont fait construire des espaces de stockage au climat contrôlé adaptés à la conservation des métaux et fait (re)traiter un nombre d'objets base fer de plus en plus important pour stabiliser leur état. La plupart des objets subissent une désalinisation lorsque cela s'avère nécessaire. À Amersfoort, ArcheoSpecialists a (re)traité des fers archéologiques en utilisant le traitement au sulfite alcalin tel qu'il a été mis au point par North & Pearson dans le milieu des années 70.

Pour les fouilles récentes et futures, cette nouvelle politique *ex-situ* a manifestement de très grandes conséquences puisque toutes les catégories de vestiges, y compris les vestiges métalliques, doivent être stabilisés avant leur stockage définitif. Ceci s'applique particulièrement aux objets métalliques qui sont, par définition, instables. Étant donné que la stabilisation des métaux est rarement prévue dans le budget du projet, une politique de sélection sévère doit être appliquée. Ce conflit d'intérêt entre les archéologues et les spécialistes amène la question suivante : le (re)traitement des vestiges métalliques est-il une nécessité ou seulement une perte de temps ?

Contact : Karin A. N. Abelskamp-Boos (ArcheoSpecialists)

Financement : sans financement externe

Projets de recherche en cours



La désalinisation au sulfite alcalin – tuyaux et astuces (SNM)

Les objets archéologiques en fer tendent à se corroder. Ce processus est influencé par la présence de sels qui ont migré dans les artefacts pendant leur enfouissement. Les chlorures jouent ici un rôle important. Après l'exhumation, les processus de corrosion sont intensifiés en présence d'oxygène. Afin de conserver les objets en fer et d'éviter la poursuite de leur altération, il est nécessaire d'extraire les chlorures qu'ils contiennent. Au Musée National Suisse, nous avons adopté la méthode de désalinisation au sulfite alcalin proposée par Rinuy & Schweizer.

L'expérience accumulée au cours des 12 dernières années nous a conduit à faire quelques modifications dans la procédure de manière à rendre l'application de la méthode plus facile et plus rentable en termes de temps et de coûts. Nous faisons donc quelques suggestions concernant l'infrastructure nécessaire à la réalisation des traitements et la mesure des chlorures dans les solutions. Le renouvellement des bains, la protection pendant le traitement des matériaux organiques associés et les procédures de rinçage et de séchage sont aussi considérées. L'expérience acquise en matière de pré-traitement, post-traitement et stabilité à long terme des artefacts en fer désalinisés est examinée.

Références :

Rinuy, A. et Schweizer, F., *Méthodes de conservation d'objets de fouilles en fer. Etude quantitative comparée de l'élimination des chlorures*, Studies in Conservation, 26 (1981) 29-41

Schmidt-Ott, K. and Oswald, N., Neues zur Eisenentsalzung mit alkalischem Sulfit, VDR Beiträge, Heft 2, (2006) 126-134

Contacts : Katharina Schmidt-Ott et Dr Niklaus Oswald (SNM)

Financement : Musée National Suisse

Nouveaux projets de recherche



Le projet SmartPlasma (HA-RAFA)

Tout conservateur-restaurateur a à sa disposition un large éventail de techniques pour nettoyer les parties métalliques d'objets d'art mais jusqu'à maintenant beaucoup se sont avérées peu satisfaisantes. C'est particulièrement le cas lorsqu'on a des objets composites et délicats comme des filets métalliques au sein de textiles ou des daguerréotypes. L'objectif du projet SmartPlasma prévu sur deux ans (2005-2006) était de développer un prototype capable de nettoyer de telles pièces à l'aide d'un plasma. Ce projet a été mené par le département de conservation / restauration des métaux de la Hogeschool d'Antwerp en coopération avec le département de Chimie de l'Université d'Anvers.

Au terme du projet un prototype a pu être développé. Il peut être utilisé en plein air (sans limitation de tailles et formes de l'objet) et en espace clos avec un ordinateur contrôlant la teneur en gaz H-He, ce qui réduit considérablement le coût. Le traitement en espace clos présente de nombreux avantages comme la possibilité de créer un plasma secondaire et une zone de traitement efficace jusqu'à 8 cm entre l'objet et la torche à plasma. La température du plasma reste inférieure à 50°C et celle de la boîte n'excède pas 30°C.

En parallèle à la conception d'un tel système, des essais ont été réalisés sur des coupons métalliques. Les meilleurs résultats ont été obtenus pour les coupons en argent terni recouverts d'une couche de sulfures d'argent. Dans ce cas, le nettoyage a pris 15s par spot d'environ 10mm. Des alliages d'argent, de cuivre et d'argent doré ont été testés mais l'efficacité est moindre.

Le fait que l'argent pur présente les meilleurs résultats est encourageant par rapport à l'objectif du projet qui est le développement d'une méthode de nettoyage sèche, à basse température et sans contact direct pour des objets composites ou délicats. C'est exactement pour ce type d'objets que la réduction par plasma peut présenter un intérêt. Des feuilles d'argent sur bois polychrome, des pièces en argent, des daguerréotypes, des surfaces argentées, des filés métalliques dans les matières textiles, des objets en argent émaillé et même des pièces en argent brunies présentent toute une surface en argent pur.

Dans les années prochaines, nous projetons de faire de nouveaux tests sur d'autres surfaces en se penchant sur l'altération d'autres matériaux comme le bois, le textile... et de développer un système automatisé avec une table motorisée et un bras robotisé (issus partiellement d'un autre projet de recherche appelé « Flexpo »). Pour l'installation et les recherches à venir sur le plasma dans notre département de conservation, un projet BOF a été accepté pour 2007.

Contacts : Patrick Storme (HA-RAFA)

Financement : Privé 7.5% - IWT (Flemish research support) et 92.5% via le fonds TETRA (transfert de technologie).

Nouveaux projets de recherche



Des inhibiteurs de corrosion naturels pour la protection des biens culturels métalliques (CENIM-CSIC)

Les inhibiteurs de corrosion (CIs) sont des substances qui, ajoutées à un environnement donné, diminuent ou réduisent la corrosion d'un métal dans cet environnement. Ces substances sont très utilisées dans le domaine industriel. Dans le domaine de la conservation-restauration, quelques CIs sont utilisés pendant les phases de nettoyage ou de protection des objets métalliques. L'inconvénient principal est que la plupart de ces composés sont toxiques ou cancérigènes, comme le benzotriazole (BTA) utilisés pour les alliages cuivreux.

La plupart des recherches récentes sur les CIs ont porté sur leur toxicité et leur effet sur l'environnement. Quelques auteurs ont testé l'efficacité d'autres azoles comme l'imidazole, l'indole, le 5-mercapto-1-phenyl-tetrazole, le 2-mercapto benzoxazole ou le 2-mercapto benzimidazole. Même si leur efficacité est bonne, voire même meilleure que le BTA on ne peut les considérer comme totalement non toxiques. D'autres auteurs se sont penchés sur l'effet de ces produits sur la santé. Un axe de recherche a été l'étude de l'effet inhibiteur d'acides aminés comme l'alanine, la cysteine, le tryptofan (ou un de ses dérivés la tryptamine). Mais l'axe de recherche le plus important a été l'étude de l'effet inhibiteur d'extraits de plantes. L'avantage de ces composés est qu'ils sont faciles à utiliser, peu chers et non toxiques pour le manipulateur et l'environnement.

La plupart du temps, ces CIs ont été étudiés en milieu aqueux à différents pH (surtout acide) et/ou avec des chlorures. Quoiqu'il en soit, l'usage principal des CIs en conservation est sous forme de film ou de revêtement protecteur composé d'une couche d'inhibiteur chimiquement lié à la surface du métal. Il y a très peu d'études sur cette méthode d'utilisation des CIs et aucune concernant des inhibiteurs naturels.

Les objectifs de ce projet sont les suivants :

- l'étude de l'applicabilité et de l'efficacité de CIs extraits de plantes utilisés en tant que film pour la conservation et la restauration d'objets métalliques. Des extraits de *Pimpinella anisum*, *Nigella sativa*, *Rosmarinus officinalis* et *Thymus vulgaris* seront étudiés sur des alliages de fer et de cuivre.
- L'étude de l'utilisation de ces inhibiteurs naturels combinés avec des revêtements traditionnels de la conservation-restauration : résines acryliques (Paraloïd B72) et cire microcristalline.

L'efficacité de ces inhibiteurs sera étudiée au moyen de techniques électrochimiques (Rp et EIS) et la surface du métal et des films sera caractérisée à l'aide des techniques MEB et XPS. Des échantillons seront exposés à de faibles concentrations de polluants en utilisant une chambre à gaz et la vitesse de corrosion sera évaluée avec une microbalance à cristaux de quartz disposant d'une sensibilité de quelques nano-grammes.

Contact: Emilio Cano (CENIM-CSIC)

Financement: Conseil National de la Recherche Espagnole (CSIC)

Nouveaux projets de recherche



Recherches sur la corrosion des incrustations en plomb des objets japonais en laque (TBM)

Les incrustations en plomb de nombreux objets japonais en laque du département asiatique du British Museum sont sévèrement corrodées. La corrosion du plomb causée par des acides carboxyliques et des composés carbonylés émis lors du stockage ou de l'exposition est bien connue. Les stratégies présentées dans la littérature proposent : l'élimination de matériaux pouvant émettre sous forme gazeuse des acides organiques, la mise en place de pièges à polluants, le traitement consolidant ou d'élimination de la corrosion. Les objectifs de ce projet sont les suivants : connaître l'historique du stockage de ces objets et la cause de leur corrosion, identifier les matériaux originaux et leur mode de fabrication, établir une stratégie de conservation pour évaluer la perte esthétique subie par ces objets et se rapprocher d'experts dans la conservation de la laque.

Il y a des incertitudes sur la date de début du processus de corrosion et sur la détermination de la source d'émanation d'acides organiques. Les opinions varient sur la fabrication du matériau émetteur. Jusqu'à aujourd'hui, il n'y a pas de preuve scientifique. Le nombre de traitements applicables ici, utilisés sur les plombs corrodés est limité à cause de la grande diversité des matériaux utilisés pour la fabrication des objets. Les interactions entre les produits utilisés pour le traitement du plomb corrodé et la laque ne sont pas connues de même que l'efficacité de traitements localisés pour le plomb. La littérature sur le sujet date des années 1980 mais ne permet pas de proposer un traitement de conservation adéquat pour ces objets.

Afin d'étudier ce problème et évaluer les effets des mesures proposées, les tests suivants seront lancés :

- Analyse de la composition de trois objets sélectionnés par FRX, spectroscopies Raman et FTIR et DRX (si des échantillons sont disponibles)
- Mesure de la teneur en acide organique dans le lieu de stockage avec des tubes passifs et par chromatographie ionique (IC).

Les auteurs sont bien conscients de la complexité des matériaux rencontrés et des problèmes qui en découlent et sont ouverts à toute suggestion ou toute proposition de collaboration.

Contacts: Maickel van Bellegem, L. Harrison, Q. Wang, P. Fletcher, T. Clark (TBM)

Financement : Pas de financement extérieur.

Nouveaux projets de recherche

Etude électrochimique de l'influence de la teneur en étain sur la formation des patines de bronzes Cu-Sn (CECM, LECSO, ENSCP)

La compréhension des phénomènes d'altération des matériaux culturels, et plus particulièrement des bronzes (alliages cuivre-étain), présente un grand intérêt pour l'histoire et la conservation des objets du patrimoine. En effet, elle nous renseigne sur l'état de dégradation, sur la nature et les milieux d'enfouissement, sur la présence et la nature des traitements de surface originels, sur les causes d'abandon de l'objet... ainsi que sur les précautions à prendre pour la conservation de tels objets.

L'analyse conjointe des couches superficielles, naturelles ou intentionnelles, des objets archéologiques et de patines artificielles synthétisées en laboratoire présentant des caractéristiques similaires à celles de bronzes anciens, donne des informations sur la composition et la structure de ces patines. Actuellement, un modèle de formation est proposé dans la littérature [1]. Il repose sur un processus à deux étapes : la première consiste en l'oxydation du cuivre et de l'étain avec formation d'un film de corrosion composé de complexes de Cu (II) et de Sn (II), et la seconde qui peut prendre deux formes. Soit la couche est bloquante et la surface originelle est conservée, on parle de corrosion de type I. Soit la couche est beaucoup moins bloquante (cas où le milieu est agressif) et on a un système actif de corrosion dit de type II. Dans les deux cas, la dissolution sélective du cuivre est observée et conduit à la présence d'une couche enrichie en étain à la surface de l'alliage.

D'après la littérature [2], la compréhension de ce phénomène de décuprification est indispensable à la détermination des processus de corrosion des bronzes. Mais à ce jour, aucune méthode n'a été en mesure de conduire à la caractérisation précise des produits de corrosion. Les résultats obtenus au cours d'études antérieures [3, 4] ont montré, par diffraction (MET et DRX), la présence entre autres de Cu_2O et de SnO_2 d'une part, et de CuCl en milieu NaCl d'autre part. Mais dans les deux cas, toutes les raies ne correspondent pas aux raies théoriques des composés modèles et leur intensité est parfois supérieure. Ces observations laissent supposer que les composés de corrosion des bronzes sont plus complexes que la bibliographie ne le laissait penser.

L'objectif de notre étude est de déterminer avec certitude les constituants des produits de corrosion des bronzes dans le but de déterminer la séquence réactionnelle conduisant à la formation de ces patines, dans un milieu réactionnel donné. L'élaboration de bronzes de haute pureté à différentes teneurs en étain (3,5 à 13 wt %) a été réalisée et permettra de fabriquer des analogues de laboratoire par la synthèse de patines artificielles. La formation des patines sera étudiée par les techniques électrochimiques classiques et par une caractérisation fine des couches formées, ce qui nécessite de croiser les techniques analytiques : analyse de surface (XPS et Auger), micro-spectrométrie Raman, microscopies électroniques (microsonde, MET analytique...), micro-diffraction des rayons X sur générateur à anode tournante ou encore l'utilisation de grands instruments (μXANES ...).

Références :

1. L. Robbiola, J.-M. Blengino, and C. Fiaud, *Morphology and mechanisms of formation of natural patinas on archaeological Cu-Sn alloys*. Corrosion Science, 1998. **40**(12): p. 2083-2111.
2. I. Mabile, et al., *Mechanism of dissolution of a Cu-13Sn alloy in low aggressive conditions*. Corrosion Science, 2003. **45**: p. 855-866.
3. C. Debiemme-Chouvy, F. Ammeloot, and E.M.M. Sutter, *X-ray photoemission investigation of the corrosion film formed on a polished Cu-13Sn alloy in aerated NaCl solution*. Applied Surface Science, 2001. **174**: p. 55-61.
4. M.L. Young, et al., *Synchrotron X-ray diffraction and imaging of ancient Chinese bronzes*. Applied Physics A, 2006. **83**: p. 163-168.

Contacts : Johanna Muller and Ivan Guillot (CECM), Barbara Laik (LECSO) et Luc Robbiola (ENSCP - LMS).

Financement : Ministère de la Recherche et de la Technologie, Chim'Art.

Informations générales

Sites internet

- **ARTECH network**: http://server.icvbc.cnr.it/progetti_futuri/progetto_artech.htm. Réseau facilitant l'accès à différentes techniques d'investigations de biens culturels pour des professionnels de la conservation.
- **BIGSTUFF (Care of Large Technology Objects) 2004**: <http://www.awm.gov.au/events/conference/bigstuff/index.asp>
- **CAMEO**: site électronique contenant des informations chimiques, physiques, visuelles et analytiques sur plus de 10.000 matériaux historiques et contemporains utilisés en conservation, préservation et production d'objets artistiques, architecturaux et archéologiques. http://www.mfa.org/_cameo/frontend/
- **Cost Action G8: "analyses non-destructives et tests sur des objets de musées"**. <http://srs.dl.ac.uk/arch/cost-g8>. Les résumés et livrets des précédents séminaires peuvent être téléchargés tout comme les annonces des prochaines activités (missions scientifiques, dates limites, stages...)
- **Cost Action G7: Conservation d'objets par le laser** <http://alpha1.infim.ro/cost>
- **ENVIART** (Chemical Interactions between Cultural Artefacts and Indoor Environment): www.enviart.org. La souscription est obligatoire (et gratuite) pour accéder à toute information.
- **e-Preservation Science**: <http://www.e-preservation-science.org>. publications en ligne sur la conservation.
- **European Cultural Heritage Network**: <http://www.echn.net/>. Réseau européen de professionnels oeuvrant dans le domaine de la conservation restauration.
- **IR et Raman pour le patrimoine culturel** : <http://www.irug.org/default.asp>
- **LabS-TECH réseau** <http://www.chm.unipg.it/chimgen/LabS-TECH.html>
- **Laboratoire Pierre Sue**: les thèses de doctorat du LPS sur l'altération d'objets archéologiques peuvent être téléchargés depuis le site <http://www-drecom.cea.fr/lps/> (en français) cliquer à « Archéomatériaux et prévision de l'altération ».
- **METALCons**-info page d'accueil : <http://rsc.anu.edu.au/~hallam/METALConsn-info.html>
- **M2ADL** - Microchemistry and Microscopy Art Diagnostic Laboratory est maintenant disponible sur le site : http://www.tecore.unibo.it/html/Lab_Microscopia/M2ADL/
- **New York Conservation Foundation** : <http://www.nycf.org>
- **PROMET**: <http://www.promet.org.gr>

- **RESTAURACION METAL SUR AMERICA:** www.restauraciondemetales.cl

- **TEL (PhDs on line):** <http://tel.ccsd.cnrs.fr/>

- **Working Group Metals ICOM Committee for Conservation**

<http://icom-cc.icom.museum/WG/Metals/>

- **Online publications of Surface Engineering Journal** . numéro portant spécifiquement sur les métaux : **Surface Modification Issues in Art**, Volume 17, Issue 3, June 2001. Peut être téléchargé de:

<http://www.ingentaconnect.com/content/maney/se/2001/00000017/00000003;jsessionid=1xpmlw91522a3.victoria>)

- **ANDRA** (Agence Nationale pour la Gestion des Déchets RadioActifs)

http://www.andra.fr/interne.php3?publi=publication&id_rubrique=82&p=produit&id=5. Les documents suivants peuvent être commandés gratuitement sur le site: *Analogues archéologiques et corrosion* (in French only) and *Prediction of Long Term Corrosion Behaviour in Nuclear Waste Systems* (in English).

Prochains séminaires et conférences

-**Stratégies de Conservation pour la Sauvegarde de Collections Métalliques en Intérieur** (CSSIM) (25 février – 1^{er} mars 2007, Le Caire, Egypte). Organisé par le Groupe de Spectroscopie Laser (NILES, Egypte) et le projet européen PROMET. Avec la contribution des groupes de travail sur les Problèmes juridiques en conservation et Métal d'ICOM-CC. Pour plus d'informations, contacter : Mohamed Harith (mharithm@egypt.com)

- **La protection du patrimoine culturel de la pollution de l'air** (15-16 Mars 2007, Paris, France) co-organisé par le Projet européen CULT-STRAT et ICP Materials Task Force de la Convention sur les effets à long terme de la pollution de l'air. Pour plus d'informations contacter Ron Hamilton (r.hamilton@mdx.ac.uk).

-**Conservation Science 2007** (10-11 Mai 2007) organisé par l'Universita degli studi di Milano, ICON et l'Institute of Conservation Science. Pour plus d'information contacter Joyce Townsend (joyce.townsend@tate.org.uk)

-**2^{ème} conférence d'Archéoméallurgie en Europe** (17-21 juin 2007, Grado et Aquileia, Italie) organisé par l'Association Italienne de Métallurgie. Pour plus d'informations : www.aimnet.it/archeometallurgy2.htm

-**METAL07**, réunion triennale de l'ICOM-CC Metal WG (17-21 Septembre 2007, Amsterdam, NL). Pour plus d'informations voir le site web : www.metal07.org

- **Conférence sur les technologies de modification de surface (SMT 21), Session sur "Arts et Surfaces"** (24-26 septembre 2007, Paris). La session "Arts et Surfaces" sera coordonnée par Dr Alessandra Giumlia-Mair. Pour plus d'information veuillez contacter Alessandra Giumlia-Mair (giumlia@yahoo.it)

-**Symposium 2007** – Préserver l'héritage arborigène : approches techniques et traditionnelles (24-28 Septembre 2007, Ottawa, Canada) organisé par le Canadian Conservation Institute. Plus d'informations sur le site web : http://www.cci-icc.gc.ca/symposium/index_e.aspx

-**Art 2008**, 9^{ème} conférence internationale (25-30 mai 2008, Jérusalem, Israel) sur les méthodes non destructives, microanalyses et préservation dans la conservation de notre environnement culturel et environnemental, organisé par Israel National Society pour NFT. Pour plus d'informations : www.isas.co.il/art2008

Abréviations et sigles

BOF : Bijzonder Onderzoeks Fond – Financement spécial de recherche, système de financement au sein de l'Association of the University of Antwerp and the Hogeschool Antwerpen, Royal Academy of Fine Arts

CEM : Centre d'Etudes de Chimie Métallurgique (UPR 2801)

CENIM-CSIC : Centre National de Recherche en Métallurgie, Centre National de Recherche Espagnol.

DED-SS : Division Expérience DIFFABS – Synchrotron SOLEIL

DRX: Diffractométrie de Rayons X

EH : English Heritage

ENSCP – LMS : Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Paris- Laboratoire de Métallurgie Structurale

FRX : Fluorescence de Rayons X

FTIR : Infra Rouge à Transformée de Fourier

HA-RAFA : Hogeschool Antwerpen, Académie Royale des Beaux Arts

IC : Chromatographie ionique

IWT : Institut pour l'encouragement de l'Innovation en Science et Technologie en Flandres, www.iwt.be

LECSO : Laboratoire d'Electrochimie, Catalyse et Synthèse Organique (UMR 7582)

LRMH : Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques

MEB : Microscopie Electronique à Balayage

MET: Microscopie Electronique en Transmission

RCS : Reto CH Sarl

SABKS: Staatliche Akademie der Bildenden Kuenste Stuttgart

SNM : Musée National Suisse

TBM : Le British Museum

TEI : Technological Education Institute

UCLA : Université de Californie à Los Angeles

VITO : Institut Flamand en Recherche Technologique www.vito.be

XANES : Spectroscopie d'Absorption de Rayons X

XPS: Spectroscopie photoélectronique en Rayons X

Contacts

Karin A.N. Abelskamp-Boos / ArcheoSpecialists (K.Abelskamp@archeologie.nl)

Vasilike Argyropoulos/ TEI (bessie@teiath.gr)

Emilio Cano / CENIM-CSIC (ecano@cenim.csic.es)

Gerhard Eggert / SABKS (gerhard.eggert@abk-stuttgart.de)

Vanessa Fell / EH (vanessa.fell@english-heritage.org.uk)

Salomé Guggenheimer / RCS (sg@reto.ch)

Johanna Muller / CECM (muller@glvt-cnrs.fr)

Eric Nordgren / TMM (enordgren@marinersmuseum.org)

Solenn Reguer / DED-SS (solenn.reguer@synchrotron-soleil.fr)

Katharina Schmidt-Ott / SNM (katharina.schmidt-ott@slm.admin.ch)

David Scott / CIA (Dascott@ucla.edu)

Patrick Storme / HA-RAFA (patrick.storme@skynet.be)

David Thickett / EH (David.Thickett@english-heritage.org.uk)

Maickel van Bellegem / BM (mbellegem@thebritishmuseum.ac.uk)

Quanyu Wang / TBM (qwang@thebritishmuseum.ac.uk)

Points de contacts nationaux pour le portail **METALConsn**-info

Afrique du Sud : Jaco Boshoff, archéologue sous-marin, Iziko Museums of Cape Town, Afrique du Sud.

Allemagne : Gerhard Eggert, responsable du programme « Object Conservation », Staatliche Akademie der Bildenden Künste, Stuttgart.

Argentine : Blanca Rosales, chercheur, CIDEPINT, La Plata

Australie : David Hallam, restaurateur en chef au Musée National d'Australie, Canberra

Belgique : Annemie Adriaens, professeur, responsable du groupe « Electrochimie et Sciences des surfaces » Université de Gand, Gand, et Gilberte Dewanckel, restaurateur à l'IRPA (Institut Royal du Patrimoine Artistique).

Bulgarie : Petia Penkova, restauratrice, National Academy of Arts, Dept de conservation-restauration, Sofia.

Canada : Judy Logan, restauratrice en retraite, Ottawa.

Chili : Johanna Theile, restauratrice et enseignante, Facultad de Arte – Universidad de Chile Las Encinas, Santiago du Chili.

Croatie : Goran Budija, restaurateur, Museum of Arts and Crafts, Zagreb.

Danemark : Karen Stemann Petersen, restauratrice, The National Museum of Denmark, Copenhague.

Egypte : Wafaa Anwar Mohamed, restauratrice, Giza.

Espagne : Emilio Cano, restaurateur, National Centre for Metallurgical Research, (CENIM), Conseil Espagnol pour la Recherche Scientifique (CSIC), Espagne.

Finlande : Eero Ehami, restaurateur, Maritime Museum of Finland, Helsinki.

France : Marie-Anne Loeper-Attia, restauratrice et enseignante assistante au département des restaurateurs, Institut National du Patrimoine, St Denis, Paris et Christian Degriigny, chercheur en conservation.

Grèce : Vasilike Argyropoulos, professeur assistant, Department of Conservation of Works of Art, Technological Educational Institution, Athènes.

Hongrie : Balazs Lencz, restaurateur en chef, Conservation Department, Hungarian National Museum, Budapest.

Italie : Paola Letardi, chercheur, Istituto per la corrosione marina dei metalli (ICMM), Gênes.

Malte : Christian Degriigny, chercheur en conservation, Diagnostic Science Laboratories, Heritage Malta, Kalkara.

Maroc: Hind Hammouch, chercheur, Laboratoire d'Electrochimie, de Corrosion et d'Environnement, Faculté des Sciences, Université Ibn Tofail, Kenitra

Norvège : Douwtje Van der Meulen, restauratrice et enseignante, Conservation Department, University of Oslo, Oslo.

Pays Bas : Ineke Joosten, chercheur en conservation, The Netherlands Institute of Cultural Heritage, Amsterdam.

Portugal : Isabel Tissot, restauratrice Portuguese conservation-restoration Institute, Lisbonne.

République Tchèque : Dusan Perlik, restaurateur, Museum of Central Bohemia, Roztoky.

Roumanie : Dorin Barbu, restaurateur, Brukenthal Museum Sibiu.

Royaume Uni : Catia Viegas Wesolowska, conservatrice-restauratrice, Victoria & Albert Museum, Londres et Mark Dowsett, physicien, Université de Warwick, Coventry

Russie : Andrey Chulin, restaurateur, The State Hermitage Museum, St Petersburg.

Suède : Helena Strandberg, restauratrice et chercheur en conservation independent, Göteborg.

Suisse : Valentin Boissonnas, restaurateur et enseignant, Haute Ecole d'Arts Appliqués, Arc, La Chaux de Fonds.

USA : Paul Mardikian, restaurateur en chef, Warren Lasch Conservation Centre, North Charleston et John Scott, New York Conservation Foundation, New York.