

Rédacteur:  
Christian Degrigny  
[christian.degrigny@gmail.com](mailto:christian.degrigny@gmail.com)  
Adjoint de rédaction:  
James Crawford  
[jamesbcrawford76@yahoo.com.au](mailto:jamesbcrawford76@yahoo.com.au) &  
[jrcrawford@mcr.edu.mt](mailto:jrcrawford@mcr.edu.mt)

**METALCons**-info



## Bulletin de Recherche sur la Conservation-restauration du M<sup>E</sup>tal

Février 2006

# BROME<sup>C</sup>17

### Editorial

Vous vous souvenez certainement du problème que nous avons soulevé dans BROME<sup>C</sup> 16 concernant l'accessibilité aux informations scientifiques disponibles sur la page du groupe de travail Métal du site de l'ICOM-CC. Depuis, d'autres coordinateurs des groupes de travail de l'ICOM-CC ont demandé au Bureau Directeur de revoir sa politique de restriction d'accès au site aux seuls membres payants. A ce jour, aucune solution n'a encore été retenue.

Les activités développées au sein du groupe de travail Métal dépendent autant des membres payants que des membres non payants. Si nous nous référons aux numéros précédents du BROME<sup>C</sup> et aux résultats des activités passées des sous-groupes de travail, il apparaît que la moitié des travaux réalisés est le fait des membres non payants. Pour tenir compte de cette importante contribution, nous nous devons de créer un nouveau portail accessible à tous les professionnels qui souhaitent partager leur savoir sur la conservation-restauration du métal. La nouvelle page "**METALCons**-info" devrait répondre à ce besoin. Elle contiendra toutes les données disponibles sur la page du groupe de travail Métal ainsi que toute autre information relative à la conservation-restauration du métal qui mérite d'être diffusée. David Hallam, coordinateur adjoint du groupe de travail Métal, ainsi que le coordinateur lui-même en seront les responsables. Les informations seront principalement fournies par l'équipe des points de contact nationaux qui remplace l'équipe des représentants nationaux du coordinateur du groupe de travail Métal. Nous espérons que ce nouveau portail sera bientôt fonctionnel.

Bien que ce nouveau numéro du BROME<sup>C</sup> fasse une grande place aux matériaux base cuivre (quatre résumés s'y rapportent), deux résumés traitent encore des objets en fer. Le premier développe davantage la recherche d'un traitement de conservation-restauration menée par les Amis du *Hunley* et déjà mentionnée dans le numéro 16 par l'équipe du *USS Monitor*. Il montre l'intérêt des solutions sous-critiques pour stabiliser les objets en fer chlorurés. Le second, qui relève des activités du sous-groupe AIAE, concerne la stabilité des objets en fer tout juste sortis de fouille. Par ailleurs, il faut noter que le travail de thèse de Solenn Reguer (Caractérisation des objets archéologiques chlorurés en fer présenté dans BROME<sup>C</sup> 16) peut désormais être téléchargé depuis le site : <http://www-drecam.cea.fr/lps/theses/Theses.php>. Les manuscrits d'autres chercheurs ayant travaillé sur des thématiques similaires (Enrique Vega et Delphine Neff (BROME<sup>C</sup> 8)) se trouvent sur le même site.

Les résumés sur les alliages base cuivre concernent principalement les couches de corrosion formées artificiellement ou naturellement dans l'atmosphère et lors d'un enfouissement, leur caractérisation par spectroscopie Raman, certaines techniques d'investigation électrochimiques et d'autres méthodes plus traditionnelles, ainsi que leur comportement

pendant les traitements de conservation-restauration. Deux approches sont considérées ici : l'élimination de toutes les couches de corrosion (résumé égyptien) et l'application, ainsi que l'évaluation de la tenue d'inhibiteurs de corrosion (collaboration entre spécialistes français et marocains).

Les deux autres résumés présentent, pour le premier, un protocole innovant de nettoyage à la neige carbonique (CO<sub>2</sub>) appliqué à une collection d'objets métalliques du XIX<sup>e</sup> s. qui appartient au Musée des Sciences de l'Université de Lisbonne, et pour le second, une étude technologique concernant l'aluchromie (technique de peinture d'art sur aluminium anodisé).

Comme toujours, nous espérons que vous trouverez ce dernier bulletin utile et intéressant. Merci de noter la nouvelle adresse électronique du rédacteur : [christian.degrigny@gmail.com](mailto:christian.degrigny@gmail.com).

**Rédacteur**

Christian DEGRIGNY

**Adjoint de rédaction**

James CRAWFORD

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

## Sommaire

	Page
<b>Projets de recherche en cours</b>	
 L'utilisation de la spectroscopie micro-Raman pour l'étude de la corrosion atmosphérique du patrimoine culturel en alliage cuivreux	4
 La méthode de nettoyage à la neige carbonique appliquée aux objets métalliques du Laboratoire de Chimie du XIX <sup>e</sup> s. du Musée des Sciences	5
 Croissance et propriétés des couches d'oxydation et des patines à la surface d'alliages cuivreux d'intérêt archéologique ou artistique	6
 Nouvelles approches pour la recherche sur la stabilisation du fer	7
 Corrosion et protection des bronzes recouverts de patine: étude électrochimique et spectroscopique de la surface d'objets archéologiques et synthèse d'une patine équivalente sur un bronze du commerce	9
 L'impact des différents sols sur la corrosion des objets base cuivre et méthodes de conservation-restauration	10
<b>Nouveaux projets de recherche</b>	
 Stockage sous faible taux d'oxygène et basse température d'objets en fer tout juste sortis de fouille	11
 Aluchromie : une technique de peinture d'art sur aluminium anodisé	12
<b>Promotion d'ouvrages</b>	
 Tecnologia del Oro antiguo: Europa y America	13

## Projets de recherche en cours



### L'utilisation de la spectroscopie micro-Raman pour l'étude de la corrosion atmosphérique du patrimoine culturel en alliage cuivreux (VUB – DMEMS)

Le cuivre a joué un rôle crucial dans le développement de l'humanité. La profusion des artefacts base cuivre a entraîné un grand intérêt pour ces objets et leur conservation-restauration. Dans le domaine de l'art, on apprécie leur corrosion, pas seulement du fait de la valeur esthétique des colorations obtenues, mais surtout parce que la présence des produits de corrosion témoigne du temps passé et du temps passant, ajoutant ainsi de la valeur à l'objet.

La variété des produits de corrosion qui peuvent se former sur un alliage de cuivre est très grande. Il est important d'identifier précisément leur composition sur les objets d'art et de suivre leur évolution. Cette connaissance apporte des renseignements très utiles aux historiens d'art sur l'environnement passé des objets et leur composition d'origine. Elle aide également les conservateurs-restaurateurs à savoir si la patine d'un objet est stable dans un environnement normal et quel traitement mettre en œuvre, le cas échéant.

Des techniques d'analyse nombreuses et variées sont utilisées pour déterminer la composition des couches de corrosion d'alliages cuivreux. Cependant, peu sont non destructives et préservent donc l'intégrité de l'objet. La spectroscopie Raman (SR) a été utilisée avec succès dans le domaine des œuvres d'art où la composition de différents matériaux a pu être analysée de manière non destructive. Le succès de l'utilisation de la SR à d'autres domaines de l'art nous a encouragés à entreprendre une étude exhaustive des possibilités offertes par cette technique pour la recherche sur les produits de corrosion des biens culturels. L'objectif principal de ce projet de thèse était le positionnement de la SR par rapport aux méthodes existantes, et surtout le développement d'une méthodologie générale pouvant être utilisée pour déterminer la composition des produits de corrosion par SR.

Afin d'atteindre cet objectif, un système modèle a été mis au point. L'étude a commencé par des produits de référence – plusieurs minéraux à base de cuivre – supposés présents dans la corrosion de nombreux alliages base cuivre. Leur spectre Raman a été déterminé et ajouté à une base de donnée afin d'obtenir la signature de chacun des composés. Nous avons ensuite étendu le modèle à l'étude de différents échantillons corrodés. Pour finir, le modèle établi a servi à l'étude de la corrosion et des spectres de quelques exemples de corrosion naturelle. Un algorithme de recherche basé sur l'analyse des principaux composés a été développé pour faciliter la procédure d'identification.

Nous avons montré que la SR est un outil efficace pour l'identification des principaux produits de corrosion formés au cours d'une corrosion naturelle dans des environnements variés ou une corrosion artificielle, et que le système modèle établi était un bon choix pour atteindre notre objectif. L'étude de la SR nous a permis de tirer des conclusions intéressantes en ce qui concerne la méthode et les matériaux analysés. La méthodologie mise au point peut être appliquée à l'étude de nombreux autres processus de corrosion et métaux, le fer et l'aluminium par exemple. Il n'est pas nécessaire de s'étendre sur l'importance d'étudier la corrosion sur d'autres secteurs que celui des objets d'art. Les résultats de ce travail ont, par conséquent, un grand intérêt technologique et contribuent au développement de ces secteurs d'activité.

**Contact** : Dr Valérie Hayez (VUB – DMEMS)

**Financement** : Institut pour la Promotion et l'Innovation à travers les Sciences et la Technologie en Flandre

## Projets de recherche en cours



### La méthode de nettoyage à la neige carbonique appliquée aux objets métalliques du Laboratoire de Chimie du XIX<sup>e</sup> s. du Musée des Sciences (AAA, Lda – ETA)

Les laboratoires créés au XIX<sup>e</sup> s. étaient, à cette époque, de grands centres de développement scientifique et technologique promouvant la qualité dans les domaines de l'industrie, l'agriculture et de la médecine. Malgré les dégradations dues à son utilisation quasi permanente, pendant 150 ans, par plusieurs milliers d'étudiants, le *Laboratorio Chimico* est un très rare témoin de l'histoire de la Chimie au tournant du XIX<sup>e</sup> s. Sa valeur patrimoniale en tant que support de mémoire historique, scientifique et sociale est immense [1].

Le Musée des Sciences souhaite restaurer l'état originel et très documenté de ce *Laboratorio Chimico*. Les anciens instruments et appareils retrouveront leur place et tout l'espace plongera le visiteur dans l'ambiance unique et réelle de la chimie du XIX<sup>e</sup> s. Les objets métalliques (instruments scientifiques) faisant partie du programme de conservation-restauration seront traités.

Le nettoyage est une des principales étapes du processus de conservation-restauration puisque son efficacité se reflète dans les traitements ultérieurs d'inhibition de la corrosion et de protection. Le nettoyage par projection de neige carbonique (particules de CO<sub>2</sub>) a été préféré à d'autres techniques plus traditionnelles. Cette méthode, testée industriellement depuis les années 80, consiste à projeter sous air comprimé des microbilles de dioxyde de carbone solides à une température de -78 à -58°C [2].

L'efficacité du procédé de nettoyage dépend de trois ensembles de paramètres: l'équipement, les particules et le procédé.

Les avantages du procédé sont la faible dureté des particules – entre 2 et 3 Mohs, qui les assimilent à l'action du sulfate ou du carbonate de calcium – et l'absence de tout résidu, du fait que les particules se subliment au contact avec la surface des objets [2].

Le nettoyage à la neige carbonique, qui nécessite des recherches supplémentaires afin d'optimiser les procédés et l'équipement, est dans certaines limites une alternative aux méthodes actuellement employées. Son développement pourrait, dans un avenir proche, contribuer notablement à la conservation-restauration des métaux.

#### Références :


[1] in <http://www.museu-de-ciencia.ul.pt/lab/indexe.html>

[2] G. Spur et al. *Wear* 233-235 (1999), 402-411

**Contact** : Isabel Tissot (AAA, Lda – ETA)

**Financement** : Museu da Ciência da Universidade de Lisboa et P.O.C – Plano Operacional para a Cultura

## Projets de recherche en cours

 Croissance et propriétés des couches d'oxydation et des patines à la surface d'alliages cuivreux d'intérêt archéologique ou artistique (C2RMF / CEA-CRMP)

Les couches d'oxydation et de corrosion présentes à la surface des alliages cuivreux d'objets du patrimoine culturel sont souvent très riches d'informations. Elles peuvent renseigner sur l'aspect d'origine de l'objet, sur les causes d'abandon et sur l'état de conservation. Elles sont souvent de structures et de natures très complexes et leur analyse est très délicate car elle est soumise à des contraintes sévères de préservation de l'objet.

Nous nous sommes intéressés aux couches provenant d'oxydations à haute température et aux patines intentionnelles antiques.

Nous avons développé les méthodes analytiques non destructives et les dispositifs expérimentaux les plus adaptés à ces problématiques en nous basant principalement sur les analyses par faisceau d'ions. L'oxydation à haute température du système cuivre-étain a été étudiée de manière approfondie, tant au niveau de la nature des couches, des cinétiques de croissance que des mécanismes réactionnels. Nous avons proposé un modèle tenant compte de tous les résultats expérimentaux que nous avons obtenus, mettant en évidence le rôle inhibiteur de l'étain.

Nous avons également étudié les patines intentionnelles antiques qui sont le résultat de traitements chimiques effectués par l'artisan pour modifier l'aspect et la couleur du matériau métallique. Pour cela nous avons analysé un corpus d'objets provenant des collections de divers musées nationaux, s'étalant de l'Égypte Antique à l'Empire romain.

Ces analyses ont permis d'augmenter significativement les données présentes dans la littérature sur ce type d'objets et sur ces techniques. Elles ont permis la fabrication d'analogues de laboratoire en expérimentant différentes recettes présentes dans la littérature. Les résultats des analyses d'objets et de ces expérimentations ont permis des avancées dans la connaissance de ce type de couches d'oxyde très particulières, mais aussi dans le domaine de l'histoire des techniques et stylistique dans l'Antiquité méditerranéenne

Bien que le travail de thèse soit achevé, le projet se poursuit par l'étude de bronzes présentant des patines noires, l'objectif étant d'accroître le nombre d'objets étudiés (Égypte Antique, Empire Romain et si possible Orient Antique).

Le rapport de thèse peut être téléchargé à partir du site internet suivant : <http://tel.ccsd.cnrs.fr/> (recherche par nom)

**Contacts:** François Mathis (CEASTB15 – UdL) et Marc Aucouturier (C2RMF)

**Financement:** Ministère de la Recherche

## Projets de recherche en cours



### Nouvelles approches pour la recherche sur la stabilisation du fer (WLCC/Université Clemson)

Depuis le début de l'année 2003, le Centre de conservation Warren Lasch (WLCC) travaille sur un traitement expérimental d'extraction des chlorures (Cl<sup>-</sup>) des fers forgés et fontes de fer (BROMECC 4). L'objectif de cette étude a été de comparer l'extraction des chlorures par ce procédé expérimental à celle obtenue par des méthodes traditionnelles, et plus particulièrement par bain alcalin avec ou sans réduction cathodique. Ce sont la longueur et la lenteur des traitements conventionnels des objets corrodés en fer forgé et fonte de fer qui nous ont entraîné à initier ce travail, ainsi que les dimensions du *Hunley* qui nécessitent de grandes quantités de produits chimiques qui après utilisation doivent être éliminés. De plus, en raison des contacts entre fers forgés et fontes de fer, une réduction cathodique du *Hunley* nécessiterait probablement un désassemblage au moins partiel. Enfin, l'application de techniques électrolytiques à une grande échelle, comme celle requise par les dimensions et la complexité du *Hunley*, doit encore être parfaitement évaluée et étudiée.

Cette recherche repose sur l'hypothèse qu'en employant des solutions aqueuses sous-critiques l'extraction des chlorures pourrait être infiniment plus efficace et la durée du traitement réduite de façon significative. Cette étude se base sur des travaux préliminaires menés à l'École des Sciences des Matériaux et des Ingénieurs de l'Université de Clemson sur l'eau sous et super-critique. L'eau sous-critique est maintenue à une pression supérieure à la pression atmosphérique et à 100°C et en dessous de la température et de la pression critiques de l'eau,  $T_c = 374^\circ\text{C}$ ,  $P_c = 220$  bar. Dans la région sous-critique, les propriétés de transport de H<sub>2</sub>O en tant que solvant se situent entre celles de l'eau liquide et de l'eau super-critique. Avant le début de cette recherche, aucun article, dans la littérature spécialisée, ne mentionnait l'utilisation de fluides sous ou super-critiques pour la stabilisation des artefacts métalliques.

Les expériences ont été menées à des températures comprises entre 130 et 230°C choisies pour être le meilleur compromis entre des considérations pratiques (si un artefact de grandes dimensions devait être traité) et l'efficacité du traitement. De plus, nous avons fait varier le pH de 11,6 à 13,1 et augmenté la taille du réacteur de 40 à 600mL. Un réacteur de 35L, qui doit être construit début 2006, sera utilisé pour la prochaine phase de la recherche.

Jusqu'à présent, plus de 60 expériences ont été menées au Centre Lasch sur des échantillons de fer forgé. Bien que la plupart proviennent du *Hunley*, deux d'entre eux sont des échantillons du Projet *Monitor* et plusieurs échantillons en fonte de fer appartiennent à deux obus de la guerre civile (avec des couches graphitisées d'épaisseur pouvant atteindre 1 cm). Le traitement à l'eau sous-critique a permis d'extraire de grandes quantités de Cl<sup>-</sup> de ces échantillons en très peu de temps. Aucun des traitements n'a dépassé 5 jours alors qu'il faut compter plus de 6 mois avec des traitements conventionnels sur certains échantillons similaires en fonte de fer. Dans un nombre limité d'expériences, le simple bain dans une solution de NaOH ou de NaCO<sub>3</sub> n'a pas permis de retirer tous les chlorures des sections de rivets du *Hunley* qui avaient auparavant complètement séché à l'air libre. Contrastant avec ces résultats, le traitement sous-critique d'échantillons similaires a permis avec succès l'extraction de tous les chlorures. Plus important encore, le traitement sous-critique entraîne apparemment la transformation du  $\beta$ -FeOOH en autres oxydes de fer. Pour la totalité des échantillons traités ainsi, l'apparence physique, les propriétés mécaniques ainsi que l'apparente résistance à la

corrosion (même pour ceux stockés pendant au moins deux ans dans une enceinte saturée en vapeur d'eau) semblent très bonnes et les résultats obtenus lors de ces expériences continuent à être très encourageants.

Les résultats de ce travail ont été présentés en partie lors de Metal 04 à Canberra, Australie, au XIV<sup>e</sup> Congrès International de la Recherche sur les Matériaux à Cancun (2005), au Symposium analytique de l'Est (2005) et récemment à la Conférence de Williamsburg sur la « Conservation des matériaux archéologiques : Approches actuelles et directions futures ». Une description plus détaillée sera soumise à Studies in Conservation début 2006.

#### **Références**

M. J. Drews, P. de Viviés, N. G. González and P. Mardikian, "A study of the analysis and removal of chloride in iron samples from the "Hunley"," Metal 04, Proceedings of the International Conference on Metals Conservation, Canberra, Australia, October 2004, Ed. J. Ashton and D. Hallam, National Museum of Australia, Canberra, 247-260(2004).

M. J. Drews, P. de Viviés, N. G. González, P. Mardikian and K. Grogan, "Evaluation of new technologies for the stabilization of archaeological iron," XIV INTERNATIONAL MATERIALS RESEARCH CONGRESS, August 21 – 25, 2005, Cancún, México.

M. J. Drews, P. de Viviés, N. G. González and P. Mardikian, "Chloride Distribution Measurements and Chloride Distribution on the *H. L. Hunley*," Book of Abstracts, Eastern Analytical Symposium, November 14-17, Somerset, New Jersey, USA, **125**, 16 (2005).


P. Mardikian, N. G. González, M. J. Drews and P. de Viviés, "New Perspectives Regarding the Stabilization of Terrestrial and Marine Archaeological Iron" Conservation of Archaeological Materials: Current Trends and Future Directions, Colonial Williamsburg, Virginia, USA, November 13-17, 2005 (en prep).

**Contacts** : Paul Mardikian (WLCC) et Michael Drews (Université de Clemson)

**Financement**: Amis du *Hunley*, Université de Clemson



## Projets de recherche en cours

 Corrosion et protection des bronzes recouverts de patine : étude électrochimique et spectroscopique de la surface d'objets archéologiques et synthèse d'une patine équivalente sur un bronze du commerce (LISE)

Les bronzes se couvrent spontanément d'une couche de patine en contact avec des milieux corrosifs. Cette couche, souvent verte ou vert-gris, confère à des objets archéologiques un aspect attrayant et porteur d'informations d'ordre archéologique. C'est pourquoi l'on cherche à conserver la couche de patine plutôt que de redonner à l'objet son aspect initial, éclatant et brillant. En général, avec le temps, la patine devient stable et protège le substrat, mais un changement de milieu lors de la découverte d'objets enfouis, ou des conditions atmosphériques agressives, dues à la pollution, déstabilise la patine. Le processus de corrosion alors redémarre d'une façon virulente. Il est alors nécessaire de protéger les objets contre la corrosion soit en consolidant la patine soit en protégeant directement le substrat de bronze. Or, les patines naturelles dépendent des conditions de formation et chaque cas est donc particulier. De plus, la formation naturelle de patine, dans un milieu atmosphérique contrôlé demande beaucoup de temps. Alors, il est apparu intéressant de synthétiser une patine dans une durée relativement courte.

Dans cet objectif, nous nous sommes intéressés premièrement à mettre au point la formation de la patine par des méthodes électrochimiques sur un bronze B66 ( $\text{Cu}_{13}\text{Pb}_8\text{Sn}$  en % massique, une composition très proche de celle des monnaies du post Empire Romain trouvées sur les sites archéologiques du Maroc), et de comparer son comportement électrochimique avec celui d'une patine d'un objet archéologique à l'aide d'une microélectrode à cavité, puis nous avons testé l'effet inhibiteur de trois inhibiteurs organiques : le bitriazole, l'aminotriazole, et à titre comparatif le benzotriazole. Les analyses SDE, DRX, et RAMAN ont permis d'abord la caractérisation des différents produits des patines et le mode d'action des inhibiteurs étudiés. Le suivi par la spectroscopie d'impédance a permis ensuite de mettre en évidence l'effet protecteur.

Ce travail de thèse a été réalisé entre le Laboratoire Interfaces et Systèmes Electrochimiques (LISE), UPR 15 CNRS et l'Université Ibn Tofail, Maroc.

**Contacts** : Kamal Rahmouni and Hisasi Takenouti (LISE)

**Financement** : Programme d'action intégrée Franco-Marocain

## Projets de recherches en cours

### L'impact des différents sols sur la corrosion des objets base cuivre et méthodes de conservation-restauration (CD-FA-CU)

L'étude a été centrée sur les différents facteurs qui influencent la corrosion dans les sols des objets en alliage cuivreux trouvés dans différents contextes d'enfouissement et plusieurs sites archéologiques en Egypte, menacés par des facteurs géologiques et environnementaux variés. Leur datation s'étend sur les périodes historiques qui vont de 3200-2700 avant JC (Ancienne Dynastie) à 630-750 après JC (période Ommeyade). Une étude analytique a été menée sur des échantillons de différents lieux et sites archéologiques.

Les échantillons ont été préparés pour un examen métallographique, examinés sous MEB/SDE et des cartographies X ont été réalisées. Un échantillon du noyau métallique, quand il y en avait un, a été analysé par spectroscopie Plasma Couplé par Induction (SPCI). Tous les produits de corrosion présents sur les objets ont été échantillonnés à l'aide d'un microscope optique et analysés par diffraction des rayons X (DRX). Des analyses de sol ont été réalisées et les données analytiques existantes ont été consultées.

Quatre alliages base-cuivre différents, représentatifs des matériaux trouvés sur les sites, ont été fondus pour l'étude des taux de corrosion et du comportement des alliages dans le sol. Pour ce faire, la spectroscopie par impédance électrochimique (SIE) a été utilisée. Les alliages ont été immergés dans une boue sol/solution, simulant des conditions réelles, en utilisant les données du site de Tell El-Louli, Nord du Sinaï, conditions les plus agressives ne nécessitant pas d'accélération artificielle.

De plus, 6 solutions de traitement utilisées pour l'élimination des produits de corrosion des fontes d'alliages de cuivre reconstituées ont été évaluées. Ces solutions sont le dithionite alcalin, l'acide citrique, l'acétonitrile, l'acide éthylènediaminetétraacétique, le sel de Rochelle et le carbonate de sodium. Des prélèvements réguliers ont fait l'objet d'analyses pour la détermination du taux de chlorures et de cuivre et plus épisodiquement le taux en plomb, étain et zinc. La perte de poids a également été calculée pour chacun des échantillons. Le changement d'aspect de surface causé par le traitement a également été observé.

L'analyse des échantillons a été faite dans les laboratoires de l'Institut allemand Bergbau, Bochum, sous le contrôle du Prof. Dr Andreas Hauptmann ; la spectroscopie par impédance électrochimique (SIE) a été réalisée à l'Université de Tor Vergata, Rome sous le contrôle du Prof. Dr Gualtiero Gusmano.

Cette recherche qui s'est achevée récemment a été menée dans le cadre d'une thèse de recherche au Département de Conservation de la Faculté d'Archéologie, Université du Caire.

**Contact** : Mai Rifai (CD-FA-CU)

**Financement** : sans financement externe

## Nouveaux projets de recherches



### Stockage sous faible taux d'oxygène et basse température d'objets en fer tout juste sortis de fouille (HE-Arc)

La corrosion post fouille d'objets archéologiques en fer est un problème majeur de la conservation des métaux. La formation d'akaganéite et l'éclatement d'objets sont des phénomènes bien connus qui peuvent mener à la destruction complète de l'objet. Aucun traitement de stabilisation n'est effectif à 100% pour l'extraction des chlorures. Les traitements proposés posent souvent des problèmes car ils peuvent entraîner des modifications de couleurs sur les objets, des modifications des couches de corrosion et des pertes d'informations contenues dans l'objet. En parallèle à des recherches sur les méthodes de stabilisation de la corrosion, il nous faut des procédures de stockage adaptées que ce soit pour des objets juste sortis de fouille et en attente de traitement ou que ce soit pour du long terme si les objets ne peuvent être traités dans l'immédiat.

Des taux d'humidité relative (HR) élevés et une présence accrue en oxygène sont les principaux facteurs responsables de la transformation du chlorure de fer (II) en akaganéite,  $\beta$ -FeOOH. De ce fait, les efforts portent sur la mise au point des stockages à faible taux d'HR. En dessous de 30% HR, les réactions de corrosion sur des objets ferreux imprégnés de chlorures devraient être ralenties. A 30% HR et plus, ces réactions seront accélérées. Le stockage à de faibles taux d'HR est réalisé dans des boîtes plastiques avec du gel de Silice. Une autre option peut être d'éliminer l'oxygène dans le lieu de stockage pour diminuer les vitesses de réaction.

Ce travail portera sur l'utilisation de RP-System<sup>TM</sup>, un absorbeur d'oxygène développé par Mitsubishi Gas Chemical Company. Des échantillons artificiels constitués d'un mélange de poudre de fer / chlorure de fer (II) et des objets archéologiques (clous) seront stockés dans des atmosphères à faible taux d'oxygène. Notre objectif est d'étudier si l'akaganéite se forme dans ces conditions. Une deuxième partie de ce travail portera sur la réalisation d'aires de stockage à basse température pour le stockage d'objets en fer. Des échantillons artificiels constitués d'un mélange de poudre de fer / chlorure de fer (II) et des objets archéologiques (clous) seront placés au froid (5°C) pour voir si la corrosion (formation d'akaganéite) démarre. Pour un groupe l'humidité relative sera abaissée pour évaluer ses modifications sur l'environnement.

Ce projet permettra de savoir si les stockages sans oxygène sont efficaces pour prévenir la formation d'akaganéite sur les objets ferreux archéologiques tout juste sortis de fouille. La deuxième partie montrera si le stockage à froid influe sur la formation d'akaganéite.

Ce projet fait l'objet d'un diplôme de dernière année à l'HE-Arc (conservation d'objets archéologiques) à La Chaux-de-Fonds, Suisse. Les partenaires associés sont l'English Heritage et le Birkbeck College à Londres.

**Contact:** Salomé Guggenheimer (HE-Arc)

**Financement :** pas de financement.

## Nouveaux projets de recherche



Aluchromie : une technique de peinture d'art sur aluminium anodisé (RAFACS-DHA / VUB – DMEMS)

La technique d'aluchromie a été développée par deux artistes belges ; elle utilise l'aptitude de l'aluminium tout juste anodisé d'absorber de nombreux colorants appliqués suivant des techniques variées. La matrice colorée se compose de pigments organiques et minéraux dissous dans de l'acétone et/ou du méthylglycol ou diméthyl-formamide. Les colorants pénètrent dans les pores de la surface et se fixent à la surface oxydée sans modifier l'état de surface obtenu par un prétraitement mécanique, chimique ou électrochimique. L'épaisseur de la couche d'oxydes est d'environ 20  $\mu\text{m}$ . Des exemples d'œuvres utilisant la technique d'aluchromie seront présentés et discutés en fonction des aspects scientifiques et artistiques de la technique.

**Contacts:** Carmen Lenoir & Patrick Storme (RAFACS-DHA) et Iris de Graeve & Herman Terryn (VUB – DMEMS)

**Financement:** Pas de financement extérieur, soutien de la thèse pour la recherche par la Vrije Universiteit Brussel

## Promotion d'ouvrages



Alicia Perea, Ignacio Montero and Oscar Garcia-Vuelta (eds) Tecnología del Oro antiguo: Europa y America (Technologie de l'or ancien :: Amérique et Europe). Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto de Historia, Departamento de Historia Antigua y Arqueología, Madrid 2004. 431pp. Illustrations.

ISBN: 84-00-08293-1

E-mail pour commande : [publ@orgc.csic.es](mailto:publ@orgc.csic.es)

Prix approximatif: 50 Euro

L'année 1989 a probablement été le début de ce qu'on peut appeler l'archéologie de l'Or. C'est au cours de cette année que fut inaugurée l'exposition : *Le premier or de l'humanité en Bulgarie, 5ème millénaire* au Musée de St Germain en Laye, France. Etaient exposés les objets issus des tombes de la nécropole de Varna fouillée en 1972 et le colloque de clôture montra que l'archéométaballurgie de l'or avait suffisamment d'assise pour devenir une discipline à part entière.

Depuis, l'or préhistorique est devenu un axe de recherche au sein de la discipline plus large de l'archéologie. De grosses avancées ont été réalisées dans les deux domaines suivant:

- a) recherches dans les techniques et procédés de transformation par le biais de techniques analytiques non destructives (PIXE, LA-ICP-MS, XRF, EDS, etc...)
- b) la prise en compte de l'or comme élément d'expression de groupes sociaux.

Ces deux axes ont fait de l'archéologie de l'or une recherche interdisciplinaire favorisant le dialogue entre archéologues, historiens, anthropologues, sociologues, mathématiciens, physiciens, chimistes, géographes et autres spécialistes.

Le département de Préhistoire de l'Instituto de Historia CSIC (Madrid) a travaillé sur l'archéométaballurgie de l'or depuis 1993 avec le Projet Au. Depuis, notre connaissance sur la technologie et l'influence sociale de l'or préhistorique dans la péninsule Ibérique a beaucoup progressé et nous avons créé un ensemble d'archives unique en son genre d'analyses et d'images d'objets et de structures métallographiques. A cause de la complexité croissante des méthodes en archéométrie nous avons ressenti le besoin de créer de nouvelles formes de communication entre spécialistes.

Le premier symposium international sur la technologie de l'or ancien en Europe et en Amérique (SITOA) est le résultat de nos efforts de communication avec nos collègues, particulièrement ceux d'Amérique Latine. Il s'est tenu à Madrid entre le 23 et le 25 octobre 2002. Les actes du SITOA ont été structurés suivant les thèmes des sessions de travail qui se sont tenues au Museo Arqueológico Nacional et au Museo de America à Madrid. Partie 1 : techniques métallurgiques et méthodes analytiques. Partie 2 : Etudes régionales et nouvelles fouilles. Partie 3 : Processus économique et social. Partie 4 : Origine et circulation des matières premières.

Les articles sont en anglais et en espagnol.

Les actes peuvent être commandés au Department of Publications of CSIC. Une facture proforma avec l'envoi vous seront adressés.

Dpto. de Publicaciones CSIC, Vitruvio 8, 28006 Madrid, Spain (Tel: + 91 515 96 70 and fax: + 91 561 48 51 and website: [www.csic.es/publica](http://www.csic.es/publica))

## Informations générales

### Sites internet

- **ARTECH network:** [http://server.icvbc.cnr.it/progetti\\_futuri/progetto\\_artech.htm](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/](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>
  - **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:** LPS PhD thèses sur l'altération d'objets archéologiques; peuvent être téléchargés depuis le site: <http://www-drecom cea.fr/lps/> (en français), aller à "Archéomatériaux et prévision de l'altération."
  - **M2ADL - Microchemistry and Microscopy Art Diagnostic Laboratory** est maintenant disponible sur le site: [http://www.tecore.unibo.it/html/Lab\\_Microscopia/M2ADL/](http://www.tecore.unibo.it/html/Lab_Microscopia/M2ADL/)
  - **PROMET:** <http://www.promet.org.gr>
  - **RESTAURACION METAL SUR AMERICA:** [www.restauraciondemetales.cl](http://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** . Issue addressing specifically to Metal issues: **Surface Modification Issues in Art**, Volume 17, Issue 3, June 2001. Can be downloaded

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

#### Prochains séminaires et conférences

---

- **BAC et NDTMA sub-WG conference** (1-2 Mars 2006, Gif /s Yvette, France). Première réunion des sous-groupes. Pour plus d'informations contacter Christian Degrigny ([christian.degrigny@gmail.com](mailto:christian.degrigny@gmail.com))

- **ETIC sub-WG conference** (13 Mars 2006, Gent, Belgique). Pour plus d'informations, contacter Christian Degrigny ([christian.degrigny@gmail.com](mailto:christian.degrigny@gmail.com))

- **7<sup>ème</sup> biennale du Groupe Infrarouge et Raman (IRUG) 07** (18-31 Mars 2006, The Museum of Modern Art, NYC, USA). Pour plus d'informations se connecter à : [www.irug.org](http://www.irug.org)

- **Séminaire COST Action G8 “Analyses non destructives et tests pour les objets de musée”** (18-20 Mai 2006, Nicosia, Chypre). Pour plus d'informations contacter Annemie Adriaens ([annemie.adriaens@ugent.be](mailto:annemie.adriaens@ugent.be))

- **X<sup>e</sup> journées-débats de conservation préventive - Constats, diagnostics, évaluations : la conservation préventive en action** (14-15 Juin 2006, Institut National d'Histoire de l'Art, Paris). L'appel à communiquer sera clos le 15 Mars. Pour plus d'informations contacter Silvia Païn ([spain@cg78.fr](mailto:spain@cg78.fr))

- **IRON, STEEL AND STEAM 2006**: Séminaire sur site (dernière semaine de juin 2006), le Western Australian Maritime Museum va organiser un second séminaire archéologique sur les bateaux à vapeur et en fer. Pour plus d'informations contacter [m.mccarthy@museum.wa.gov.au](mailto:m.mccarthy@museum.wa.gov.au).

- **Les premières utilisations des métaux et alliages : métallurgie et civilisation** (15-20 Septembre 2006, Pékin, Chine). Clôture d'envoi des résumés : 15 Mars 2006. Pour plus d'informations contacter Alessandra Giumlia-Mair ([giumlia@yahoo.it](mailto:giumlia@yahoo.it))

- **Section Française de l'ICOM-CC Metal WG** (28-29 Septembre 2006, INP, Paris). Pour plus d'informations contacter Christian Degrigny ([christian.degrigny@gmail.com](mailto:christian.degrigny@gmail.com)) et Marie-Anne Loeper-Attia ([loeperattia@noos.fr](mailto:loeperattia@noos.fr))

- **SR2A 2006 séminaire sur le Synchrotron Radiation dans l'Art et l'Archéologie** (27-29 Septembre 2006 à Berlin, Allemagne) organise conjointement par le Berliner Elektronenspeicherring - Gesellschaft für Synchrotronstrahlung m.b.H. (BESSY), Bundesanstalt für Materialforschung et -prüfung (BAM), Staatliche Museen zu Berlin (SMB) and Technische Universität Berlin (TUB). Plus d'informations peuvent être obtenues sur le site web suivant : [www.bessy.de/workshops/](http://www.bessy.de/workshops/)

- **Archaeométallurgie en Europe** (Mai ou Juin 2007, Grado et Aquileia, Italie) organisé par l'Association Italienne de Métallurgie. Pour plus d'informations se connecter à [www.aimnet.it/archaeometallurgy2.htm](http://www.aimnet.it/archaeometallurgy2.htm)

---

#### Abréviations et sigles

**AAA, Lda – ETA** : Archeofactu, Archeologia e Arte, Lda & Ecomor – Tecnologias do Ambiente

**CD-FA- CU**: Conservation Département de la Faculté d'Archéologie, Université du Caire

**CEA-SRMP** : Centre pour l'Energie Atomique - Service de Recherche en Métallurgie Physique



**CEASTB15 – UdL:** Centre Européen d'Archéométrie - Sart Tilman B15 - Université de Liège  
**C2RMF:** Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France  
**DRX :** Diffraction des Rayons X  
**HE-Arc:** Haute école d'arts appliqués Arc  
**HR :** Humidité Relative  
**LISE :** Laboratoire interfaces et Systèmes Electrochimiques – UP15 CNRS  
**MEB:** Microscope Electronique à Balayage  
**RAFACS-DHA:** The Royal Academy of Fine Arts Conservation Studies, Dept. Hogeschool Antwerpen  
**SDE :** Spectroscopie Dispersive en Energie  
**SPCI :** Spectroscopie de Plasma Couplée par Induction  
**SIE :** Spectroscopie d'Impédance Electrochimique  
**SR:** Spectroscopie Raman  
**UC :** Université de Clemson  
**VUB – DMEMS:** Vrije Universiteit Brussel, Département Métallurgie, Electrochimie & Sciences  
**WLCC:** Warren Lasch Conservation Centre

---

#### Contacts

**Marc Aucouturier** / C2RMF ([Marc.aucouturier@culture.gouv.fr](mailto:Marc.aucouturier@culture.gouv.fr))  
**Michael J. Drews** / CU ([dmichae@clemson.edu](mailto:dmichae@clemson.edu))  
**Iris de Graeve** / VUB – DMEMS ([idgraeve@vub.ac.be](mailto:idgraeve@vub.ac.be))  
**Salomé Guggenheimer** / HE-Arc ([Salome.Guggenheimer@he-arc.ch](mailto:Salome.Guggenheimer@he-arc.ch))  
**Valérie Hayez** / VUB-DMEMS ([valerie.hayez@vub.ac.be](mailto:valerie.hayez@vub.ac.be))  
**Carmen Lenoir** / RAFACS-DHA ([lenoircr@scarlet.be](mailto:lenoircr@scarlet.be))  
**Paul Mardikian** / WLCC ([mardikian@hunley.org](mailto:mardikian@hunley.org))  
**François Mathis** / CEASTB15 – UdL ([francois.mathis@ulg.ac.be](mailto:francois.mathis@ulg.ac.be))  
**Kamal Rahmouni** / LISE ([kamal\\_rahmouni@yahoo.fr](mailto:kamal_rahmouni@yahoo.fr))  
**Mai Rifai** / CD-FA- CU ([mairifai@hotmail.com](mailto:mairifai@hotmail.com))  
**Patrick Storme** / RAFACS-DHA ([patrick.storme@skynet.be](mailto:patrick.storme@skynet.be))  
**Hisasi Takenouti** / LISE ([ht@ccr.jussieu.fr](mailto:ht@ccr.jussieu.fr))  
**Herman Terryn** / VUB – DMEMS ([hterryn@vub.ac.be](mailto:hterryn@vub.ac.be))  
**Isabel Tissot** / AAA, Lda – ETA ([isabeltissot@hotmail.com](mailto:isabeltissot@hotmail.com))

#### Points de contacts nationaux pour le portail **METALCons**-info

**Argentine:** Blanca Rosales, chercheur, CIDEPINT, La Plata  
**Australie:** David Hallam, restaurateur en chef au Musée National d'Australie, Canberra  
**Belgique :** Royal Academy of Fine Art, Antwerpen et Gilberte Dewanckel, restaurateur à l'IRPA (Institut Royal du Patrimoine Artistique), Bruxelles  
**Bulgarie:** Petia Penkova, restaurateur, National Academy of Arts, Dept de conservation-restoration, Sofia  
**Canada:** Judy Logan, restaurateur en chef, Institut de Conservation Canadien, Archaeology section, Ottawa  
**Chili:** Johanna Theile, restaurateur et enseignant, Facultad de Arte - Universidad de Chile Las Encinas, Santiago du Chili  
**Croatie:** Goran Budija, restaurateur, Museum of Arts and Crafts, Zagreb  
**Danemark:** Karen Stemmann Petersen, restaurateur, The National Museum of Denmark, Copenhague

---



**Egypte:** Wafaa Anwar Mohamed, restaurateur, Giza  
**Espagne:** Emilio Cano, restaurateur, National Centre for Metallurgical Research (CENIM), Spanish Council for Scientific Research (CSIC), Madrid  
**Finlande:** Eero Ehanti, restaurateur, Maritime Museum of Finland, Helsinki  
**France:** Marie-Anne Loeper-Attia, restaurateur et enseignante assistante au département des restaurateurs, Institut National du Patrimoine, St Denis, Paris  
**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  
**Norvège:** Douwkje Van der Meulen, restaurateur, Conservation Department, University of Oslo, Oslo  
**Pays Bas:** Ineke Joosten, chercheur en conservation, The Netherlands Institute of Cultural Heritage, Amsterdam  
**Portugal:** Isabel Tissot, restaurateur, Portuguese conservation-restoration Institute, Lisbon  
**République Tchèque:** Dusan Perlik, restaurateur, Museum of Central Bohemia, Roztoky  
**Roumanie:** Dorin Barbu, restaurateur, Brukenthal Museum, Sibiu  
**Royaume Uni:** David Watkinson, enseignant supérieur, Conservation Section, School of History and Archaeology, Cardiff University, Cardiff  
**Russie:** Andrey Chulin, restaurateur, the State Hermitage Museum, St Petersburg  
**Suède:** Helena Strandberg, restaurateur et chercheur en conservation, freelancer, Göteborg  
**Suisse:** Valentin Boissonnas, restaurateur et enseignant, Haute école d'arts appliqués Arc, La Chaux-de-Fonds  
**USA:** Paul Mardikian, restaurateur en chef, Warren Lasch Conservation Centre, North Charleston & John Scott, New York Conservation Foundation, New York

---