

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

**METALConsn**-info



Groupe de travail Métal

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

Novembre 2006

# BROME<sup>C</sup>20

### Editorial

Nous sommes quelque peu en retard pour ce numéro 20 du BROME<sup>C</sup> du fait du nombre important de résumés que nous avons à éditer. La plupart sont des résumés présentés pendant les journées de la section française du groupe ICOM-CC Métal. Les actes seront publiés prochainement mais en regard de la qualité des présentations données, nous avons décidé de traduire immédiatement les résumés pour les rendre accessible à nos collègues anglophones. En complément de ces résumés, vous trouverez les présentations PowerPoint (en français) présentées lors de ces journées, sous la rubrique *Other documents* de la page Métal du site de l'ICOM-CC et sous la rubrique Evènements passés et futurs du site **METALConsn**-info.

Une des deux journées de la réunion de la section française du groupe Métal était dédiée aux dernières recherches sur l'examen et la conservation-restauration des objets base fer. Depuis quelques années les équipes françaises mènent des travaux essentiels sur le sujet ce que montrent fort bien les résumés présentés.

Des travaux sur d'autres matériaux sont également présentés. Vous trouverez ainsi les résultats du projet sur la conservation d'instruments scientifiques contenant du mercure. D'autres résumés portent sur le traitement d'alliages cuivreux et le problème récurrent de la conservation de grandes structures en alliages d'aluminium.

La protection des métaux, est abordée via plusieurs projets EU (EcoNET, CONSIST et PROMET). C'est aussi un des thèmes choisi pour notre période triennale.

La conservation des matériaux composites est un autre thème choisi par le groupe de travail Métal. Plusieurs résumés s'y reportent.

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

### Editeur

Christian DEGRIGNY

### Editeur assistant










James CRAWFORD

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







# Sommaire







Page

## Projets de recherche en cours

-  Le mercure dans les collections techniques et industrielles : problèmes de conservation 4
-  Projet ATENA: Nouvelles techniques d'analyse pour la conservation d'objets archéologiques en métal et en céramique et la redécouverte d'anciens procédés de fabrication 5
-  Evaluation de l'impact de l'environnement sur la conservation des objets métalliques du patrimoine 6
-  Altération des archéomatériaux ferreux : caractérisation des phases chlorées formées sur les objets archéologiques ferreux corrodés dans les sols 7
-  Les objets archéologiques ferreux sous-marins : de la compréhension des mécanismes de corrosion à la prédiction des temps de traitement 8
-  Visualisation des étamages sur les objets archéologiques de base fer 9
-  Un point sur la détection de la surface d'origine des fers forgés en milieu marin à partir des observations réalisées lors de la fouille des concrétions marines provenant de l'épave historique (1690) du Elizabeth and Mary, anse aux Bouleaux, Québec 10
-  15 ans de traitement d'objets archéologiques ferreux sous-marins : revue critique et nouveaux développements 11
-  L'utilisation de carboxylate de sodium comme inhibiteur de corrosion du fer 12

## Nouveaux projets de recherche

-  /  EcoNET: Protection du bronze recouvert par une patine formée par des substances organiques non toxiques 13
-  La maintenance de sculptures en Cor-ten® 14
-  Caractérisation des couches de rouilles obtenues dans le cas de la corrosion atmosphérique à très long terme : cas du chaînage de la cathédrale d'Amiens 15
-  Constat d'état et diagnostic du violon électronique de Max Mathews conservé à la Cité de la Musique 16
-  Restauration de deux éléments à libation du site de Thugny Trugny 17

	Cires microcristallines pour la protection des alliages cuivreux exposés en extérieur	18
	Méthodologie d'étude des restes organiques minéralisés. Application sur le mobilier funéraire en fer d'une tombe du Haut Moyen Âge, Nécropole de Bruckmühl, Allemagne	19
	Une boîte en bois argenté avec des plaques en étain doré, Est de la France, XIVème siècle, problématique de nettoyage de la dorure à l'eau des plaquettes en étain	20
	Restauration de deux bassins en alliage cuivreux du site de Quend	21
	Conservation d'un avion DC-3 avec des inhibiteurs de corrosion	22
	Mylar, reproduction de l'alliage, les traitements de surface et les options de conservation	23

## Projets de recherche en cours



### Le mercure dans les collections techniques et industrielles : problèmes de conservation (HE-ARC)

Ce travail de diplôme (déjà présenté dans le numéro 16 du BROMECC) sur le thème de la présence de mercure dans les collections patrimoniales techniques et industrielles s'insère dans le programme de l'HE-ARC (Haute Ecole Arc de la Chaux-de-Fonds)- option conservation d'objets scientifiques et techniques. En voici les principaux résultats:

Des redresseurs à arc au mercure venant de deux musées de la ville de Porto (Musée des tramways et musée des sciences et de l'Industrie) ont été choisis comme études de cas. Ils ont montré que la présence de mercure dans les collections représente un risque important d'intoxication pour les équipes des musées et le public. Citons par exemple, l'exposition à l'air de grandes quantités de mercure, la présence dans l'air de concentrations de vapeurs de mercure supérieures aux normes autorisées et la contamination de la poussière ou d'autres matériaux. De ce fait il est indispensable d'évaluer les conditions de conservation de tels objets dès qu'ils entrent dans une collection. Par ailleurs toute intervention prévue sur ces objets requiert une approche adéquate (savoir faire et équipement appropriés, appareillages de mesure...) particulièrement quand une décontamination est nécessaire.

De tels objets posent donc d'importants problèmes de gestion aux musées concernés (à cause du savoir requis et des coûts induits). Le travail réalisé à Porto a montré que plusieurs interventions peuvent être réalisées par un restaurateur ayant une bonne connaissance de la manipulation du mercure (toxicité, caractéristiques physico-chimiques de l'élément et protocoles de décontamination). Mais une évaluation préliminaire des risques faite par un expert dans la manipulation du mercure est préférable et prévient des risques inutiles.

La conservation de collections techniques et scientifiques contenant du mercure nécessite une stratégie spécifique et sur le long terme (incluant les étapes suivantes : stockage, contrôle et identification). Cette stratégie doit inclure des directives pour réduire le plus possible les risques d'intoxication et de pollution liés au mercure. De telles directives sont produites par les organismes en charge de la protection de l'environnement et de la santé des travailleurs (protection personnelle, manipulation, stockage, élimination des résidus). Ces directives peuvent être délivrées au niveau international (International Programme on Chemical Safety (IPCS), World Health Organisation (WHO), United Nations Environment Programme (UNEP)), au niveau européen (European Agency for Safety and Health at work) et national ou régional (US Protection Agency (Etats-Unis), Centre Canadien d'hygiène et de sécurité du travail (Canada), Health & Safety Executive (Royaume-Uni), Institut National de recherche et de sécurité (France), la Suva (Suisse)).

En ce qui concerne l'incompatibilité du mercure avec les autres matériaux, certains métaux qui sont miscibles dans le mercure (zinc, étain, plomb, or et argent) et des composés qui dissolvent le mercure (agents oxydants, ammoniac, composés acétyléniques) ne doivent pas être mis au contact du mercure. Pour d'autres matériaux (considérés comme stable en présence de mercure) des recherches complémentaires sont nécessaires pour évaluer leur résistance sur le long terme. Quelque soit le matériau, il peut être contaminé par le mercure (liquide ou en phase vapeur) particulièrement s'il est poreux. Il est donc indispensable de prévoir un protocole de décontamination pour tous les matériaux afin d'éliminer toute trace de mercure.

En dépit de ses problèmes de gestion, le mercure doit être considéré comme un élément à part entière des objets patrimoniaux techniques et industriels. Son contrôle a un coût rendu nécessaire pour que l'objet garde sa valeur et sa signification. Ainsi l'élimination du mercure d'un objet ne doit pas être systématique et doit être faite que si aucune autre alternative n'est possible.

**Contact:** Antonin Torchini (HE-ARC)

**Financement:** pas de financement externe

## Projets de recherche en cours

### Projet ATENA: Nouvelles techniques d'analyse pour la conservation d'objets archéologiques en métal et en céramique et la redécouverte d'anciens procédés de fabrication (CNR-ISMN)

Le projet ATENA traite de l'application de techniques analytiques innovantes et du développement, de la caractérisation et la conduite d'essais sur des matériaux innovants et des procédures pour la conservation, la protection et la restauration d'objets anciens métalliques et en céramique.

Un certain nombre d'objets en métal et en céramique trouvés dans différents sites en Italie du Sud ont été choisis en vue de l'identification des agents de dégradation et de leurs mécanismes. La caractérisation chimique et physique a été réalisée avec différentes techniques d'analyse comme la DRX, la SPX, le MEBEC, l'ATG et la microscopie optique. Les différents états de conservation et provenance des céramiques ont été déterminés par analyse de la pâte et de la glaçure des échantillons<sup>1</sup>. La présence de chlorures à la surface des objets métalliques est la principale cause de la « maladie du bronze » et l'étude de « patines naturelles » donne des informations sur le processus de corrosion pendant l'enfouissement. L'étude de la « maladie du bronze » est menée afin de proposer des stratégies sûres de conservation-restauration d'objets métalliques anciens. Notre approche novatrice associe la synthèse de matériaux nouveaux et réversibles utilisés comme inhibiteurs de corrosion et la définition de nouveaux protocoles pour leur utilisation sur des objets métalliques. Une nouvelle méthode de fabrication d'échantillons vieillis pour tester ces matériaux de conservation, est basée sur la production d'alliages de cuivre référencés avec une composition chimique et une microstructure similaire aux anciens alliages<sup>2</sup>. Des patines « artificielles » similaires à celles formées sur des échantillons d'alliage cuivreux archéologiques, sont produites à l'aide d'une méthode accélérée avec attaque chimique et vieillissement de l'échantillon par enfouissement dans le sol du site archéologique originel.

#### References

1. M.P. Casaletto, G. Chiozzini, T. De Caro, G.M. Ingo, *Surface and Interface Analysis*, 38 (2006) 364-368
2. M.P. Casaletto, T. De Caro, G.M. Ingo, C. Riccucci, *Applied Physics A*, 83 (2006) 617-622

**Contacts:** M.P. Cataletto and G.M. Ingo (CNR-ISMN)

**Financement:** MIUR, Decreto Direttoriale 9-10-2002, n. 1105/2002.

## Projets de recherche en cours

### Evaluation de l'impact de l'environnement sur la conservation des objets métalliques du patrimoine (IRRAP)

Afin de minimiser la détérioration des objets culturels il est nécessaire de mieux connaître les matériaux qui les constituent ainsi que l'environnement qui les entoure. Pour atteindre cet objectif, un programme de recherche visant l'identification de sources potentielles de conditions agressives, telles que les dégagements des matériaux utilisés dans les vitrines et les dépôts de particules de l'air, est actuellement en cours. Des coupons métalliques (Ag, Pb et Cu) ont été exposés sous différentes conditions dans plusieurs institutions culturelles. Ils sont censés agir comme des capteurs, qui réagissent rapidement et sélectivement avec certains polluants de l'air pour former une couche superficielle de ternissure. L'analyse de cette couche à des intervalles réguliers par réduction électrochimique renseigne sur la nature chimique des produits formés ainsi que la vitesse de croissance pour un environnement donné. De cette façon, non seulement les éléments nocifs peuvent être identifiés, mais aussi leur effet synergétique en présence d'autres polluants et de l'humidité peuvent être évalués.

**Contact:** Virginia Costa (IRRAP)

**Financement:** Mission de la Recherche et de la Technologie – Ministère de la Culture et de la Communication

## Projets de recherche en cours

### Altération des archéomatériaux ferreux : caractérisation des phases chlorées formées sur les objets archéologiques ferreux corrodés dans les sols (CEA-CNRS/ LRC CEA/LRMH)

La compréhension des phénomènes d'altération des alliages ferreux prend toute son importance dans le domaine de la conservation restauration du patrimoine métallique. L'altération de ces objets est souvent liée à la présence de produits de corrosion contenant du chlore associé à un apport soudain et important d'oxygène. En effet, lors des fouilles archéologiques, le changement d'environnement provoque la fracture de l'équilibre établi durant l'enfouissement des objets, résultant en un processus de corrosion accéléré voir destructif. Afin de préserver ces objets du patrimoine, une étape de stabilisation est nécessaire. Cependant, si les traitements de déchloration actuels permettent de ralentir les processus de corrosion, ils s'avèrent souvent non optimisés. Les limites de ces traitements sont dues en grande partie à la mauvaise connaissance des produits de corrosion contenant du chlore développés sur les objets archéologiques (structure, stabilité thermodynamique) et les mécanismes à l'origine de leur formation.

L'investigation des mécanismes de corrosion du fer en présence de chlore s'appuie sur une partie analytique consistant en une caractérisation locale et structurale des produits de corrosion chlorés sur un corpus d'objets archéologiques datés du XII au XVI<sup>ème</sup> siècle. Les récents travaux de recherche ont ainsi mis en évidence deux phases cristallines différentes dans les couches de corrosion. L'oxyhydroxyde akaganéite  $\beta$ -FeOOH, est un composé couramment présent dans les produits de corrosion d'objets exposés à un environnement chloré. Il est souvent considéré comme le principal responsable de la dégradation des objets archéologiques, car pouvant relâcher des chlorures. En vue d'investigations sur la structure de ce composé, des expérimentations de diffraction en géométrie haute résolution ont été menées sur des poudres d'akaganéite possédant différentes teneurs en chlore (entre 12 %mass et 4.5 %mass). Une première approche des résultats permet de conclure sur une modification de la structure corrélée avec l'augmentation de la quantité de chlore. L'étude des couches de corrosion d'objets archéologiques a par ailleurs révélé la présence d'une phase plus fortement chlorée (15-20%mass), l'hydroxychlorure  $\beta$ -Fe<sub>2</sub>(OH)<sub>3</sub>Cl. Ce composé nouvellement mis en évidence sur ce type de matériaux joue un rôle majeur dans les processus de corrosion.

A partir de ces caractérisations, des hypothèses de mécanismes de formation de ces phases en fonction des conditions du milieu d'enfouissement ont été proposées. Seule la comparaison des produits de corrosion chlorés, observés à l'échelle microscopique, sur les échantillons archéologiques avec des phases synthétisées nous a permis, par la combinaison de techniques analytiques spécifiques, de comprendre les systèmes complexes de corrosion à long terme du fer dans les sols en présence de chlore. C'est une étape essentielle en vue d'optimiser les traitements de déchloration mis en place pour la préservation des matériaux du patrimoine métallique.

Des informations complémentaires peuvent être trouvées sur la présentation PowerPoint donnée pendant la réunion de la section française du groupe de travail Métal, Paris, 28-29 novembre 2006 (se référer à la rubrique Other documents / réunion de la Section Française du groupe Métal sur la page Métal du site d'ICOM-CCC et la rubrique Evènements passés et futurs du site **METALConsn**-info).

**Contacts:** Solenn Reguer (CEA-CNRS), Philippe Dillmann (LRC CEA), François Mirambet (LRMH)

**Financement:** Ministère de la Recherche et de la Technologie, Ministère de la Culture et de la Communication

## Projets de recherche en cours

### Les objets archéologiques ferreux sous-marins : de la compréhension des mécanismes de corrosion à la prédiction des temps de traitement (Arc'Antique)

De nos jours, tout concepteur de structure industrielle, portuaire ou navale prévoit lors de la conception que la vitesse de corrosion moyenne des alliages de fer dans l'eau de mer est de 0,1 mm/an. Cela signifie donc qu'au bout de 10 ans, un alliage ferreux de 10 mm d'épaisseur aura perdu 1 mm de sa surface d'origine et qu'au bout de 100 ans, il aura totalement disparu... Théoriquement donc, un siècle seulement suffit à faire disparaître tout objet métallique ferreux du fond des mers. Or, l'archéologie sous-marine nous montre tous les jours que fort heureusement, ce postulat de départ n'est pas toujours vrai... Nous sommes donc en mesure de nous interroger sur le ou les paramètres qui gouvernent la vitesse de corrosion pour pouvoir d'une part prédire l'état de dégradation des objets ferreux sous-marins sous leur gangue de concrétion et d'autre part prédire les temps de traitements pour faire tomber la gangue de concrétion et les chlorures des produits de corrosion.

D'un point de vue cinétique, la chronologie de formation des produits de corrosion dépend essentiellement des paramètres physicochimiques du milieu et en particulier de la quantité d'oxygène dissout disponible pour corroder la surface. Instantanément après l'immersion de l'objet, la corrosion débute ; elle se traduit par l'apparition de produits de corrosion (oxy-hydroxydes et oxydes) sur la surface d'origine. Durant le premier mois d'immersion, ainsi, une succession de couches de produits de corrosion différents va recouvrir la surface de l'objet, réduisant ainsi peu à peu l'accès de l'oxygène dissout à la surface. De plus, parallèlement, l'épave ou le site va se recouvrir de sable ou de sédiments réduisant là aussi notablement l'accès de l'oxygène dissout. C'est ainsi autour de cette « compétition » entre recouvrement de l'épave et de ses objets par les sédiments et la formation des produits de corrosion que vont s'orienter l'expertise et le diagnostic menés par les conservateurs – restaurateurs en vue de la prédiction des états de dégradation et des temps de traitement.

Sans volonté de généralisation, nous dégagerons un certain « modèle de la dégradation » des objets métalliques ferreux sous-marins qui prend en compte à la fois les facteurs environnementaux (physicochimie, sédimentologie,...) et le matériau. L'aspect biologique doit également être pris en compte.

Des informations complémentaires peuvent être trouvées sur la présentation PowerPoint donnée pendant la réunion de la section française du groupe de travail Métal, Paris, 28-29 novembre 2006 (se référer à la rubrique Other documents / réunion de la Section Française du groupe Métal sur la page Métal du site d'ICOM-CCC et la rubrique Evènements passés et futurs du site **METALConsn**-info).

**Contact:** Jean-Bernard Mémet (Arc'Antique)

**Financement:** pas de financement externe



## Projets de recherche en cours

### Visualisation des étamages sur les objets archéologiques de base fer (*Arc'Antique*)

Il y a deux ans que les travaux conduits à Arc'Antique par Manuel Leroux ont permis de prêter une attention particulière à la reconnaissance d'étamage résiduel porté par les objets archéologiques de base fer sur la base de détails observés sur les clichés radiographiques (voir BROMECC 3 et la référence ci-dessous). Prouver la présence de cette donnée technologique, en fait très répandue à partir de la période Carolingienne, offrait jusqu'à présent la difficulté de devoir recourir à des moyens analytiques nécessitant l'accès à des appareillages sophistiqués.

Depuis, une technique colorimétrique simple et susceptible de s'affranchir de cette contrainte a été (re)découverte. Moyennant un minimum de conditionnement et de moyens, ce test de contact local est sélectif ; il permet de statuer visuellement et rapidement sur la présence ou non d'étain. Si le protocole de mise en œuvre demande encore à être affiné, les résultats qu'il permet d'obtenir sont aujourd'hui prometteurs, pour peu que le test soit opéré sur la bonne strate corrodée...

En dehors de la valorisation de son aspect technologique encore méconnu, le niveau d'étamage sur les ferreux s'avère en outre constituer un excellent marqueur de la limite de la surface d'origine pour des objets généralement très corrodés.

Des informations complémentaires peuvent être trouvées sur la présentation PowerPoint donnée pendant la réunion de la section française du groupe de travail Métal, Paris, 28-29 novembre 2006 (se référer à la rubrique Other documents / réunion de la Section Française du groupe Métal sur la page Métal du site d'ICOM-CCC et la rubrique Evènements passés et futurs du site **METALConsn**-info).

#### Référence:

Leroux, M. & Lemoine S., *L'étamage des objets ferreux archéologiques : une présence discrète et problématique*, XIXe journées des restaurateurs en archéologie, Saint-Germain en Laye (2003), in *Conservation-Restauration des Biens Culturels* (CRBC), Paris, 20, 2004

**Contacts** : S. Lemoine, Arc'Antique, & A. Devillez

**Financement** : pas de financement externe

## Projets de recherche en cours



### Un point sur la détection de la surface d'origine des fers forgés en milieu marin à partir des observations réalisées lors de la fouille des concrétions marines provenant de l'épave historique (1690) du *Elizabeth and Mary*, anse aux Bouleaux, Québec (CCQ)

Lors de la fouille de l'épave du *Elizabeth and Mary*, environ 400 concrétions ont été découvertes dans le périmètre immédiat de l'épave. La corrosion du mobilier en fer échoué à la mer après le naufrage du vaisseau, initie la formation de ces concrétions. Celle-ci donne lieu à une forme particulière de corrosion du fer forgé : qu'il soit isolé ou associé à un composite, le fer se trouve soit complètement minéralisé sous la gangue de concrétion soit dans une phase intermédiaire de minéralisation. Les produits de corrosion (sulfures de fer produits par les bactéries du cycle du soufre, oxydes et hydroxydes, hydroxychlorures de fer) ont une cohésion mécanique relativement fragile. L'interface qui les sépare du noyau métallique, si celui-ci n'a pas disparu, se clive facilement. Cette situation peut aboutir à la perte de leur cohésion et, au terme du processus de corrosion, à la formation d'un vide dont le volume se rapproche de la forme d'origine de l'objet. A ce stade, l'interface de la gangue et du vide correspond à la limite de la surface d'origine et la gangue définit un moule fidèle de l'objet disparu.

Si les conditions de formation des concrétions sont bien documentées entre autre par North (1976, 1981), et Mac Leod, (1987), la littérature livre peu d'information sur la présence physique de la surface d'origine des fers forgés dans les concrétions marines. Lors du dégagement des objets en fer forgé provenant du *Elizabeth and Mary*, on a pu constater qu'une strate de métal presque ou totalement minéralisée, existait sous la concrétion. Cette strate, plus ou moins évidente aux rayons X, semble conserver les mêmes caractéristiques d'une concrétion à l'autre : peu ou pas de réaction à l'aimant, forte adhérence à la concrétion, très faible épaisseur (1/4 à 1/2 mm), vide sous-jacent et/ou produits de corrosion du fer.

La technique utilisée pour amincir les concrétions et isoler les vestiges est le marteau pneumatique. Or, si celui-ci est de nature à permettre une certaine précision lors du dégagement, il génère aussi des vibrations importantes. Ces vibrations peuvent provoquer localement l'effondrement de la concrétion sur le vide laissé par la minéralisation du fer, conduisant à la perte de la surface d'origine et de l'information potentielle dont elle est le support. Pour préserver le volume original, on utilise un matériau de comblement (résine polyvinylsiloxane) et/ ou un adhésif époxy hydrophobe utilisable dans l'eau. Après l'assèchement de la concrétion, le dégagement est poursuivi au moyen de fraises abrasives montées sur une pièce à main. Cette dernière étape de dégagement permet de localiser plus finement la strate correspondant à la surface d'origine. Il est parfois nécessaire de recourir à l'utilisation de résine époxy et de pâte époxy pour produire des renforcements mécaniques dans les vides résultant de la minéralisation du métal.

Les composites fer forgé / bois, essentiellement des fusils, de l'outillage, et des pièces d'accastillage, mis au jour dans les concrétions ont une certaine exemplarité par rapport aux vestiges hors concrétion. Du point de vue de la complétude archéologique, ce type de vestige est très peu représenté sur le territoire nord américain. La localisation et la mise au jour du profil d'origine sont donc essentielles pour l'enrichissement et la compréhension de la culture matérielle nord américaine du XVII<sup>ème</sup> siècle.

Des informations complémentaires peuvent être trouvées sur la présentation PowerPoint donnée pendant la réunion de la section française du groupe de travail Métal, Paris, 28-29 novembre 2006 (se référer à la rubrique Other documents / réunion de la Section Française du groupe Métal sur la page Métal du site d'ICOM-CCC et la rubrique Evènements passés et futurs du site **METALConsn**-info).

**Contact:** Blandine Daux (CCQ)

**Financement:** Ministère de la Culture et des Communications

## Projets de recherche en cours

### 15 ans de traitement d'objets archéologiques ferreux sous-marins : revue critique et nouveaux développements (Arc'Antique)

Depuis sa création, le laboratoire Arc'Antique a traité plus de cent canons et ancres provenant du patrimoine sous-marin ce qui fait de lui un des laboratoires les plus expérimentés en Europe. Afin d'améliorer les rendements des traitements de conservation-restauration pratiqués sur l'objet, en particulier de l'électrolyse, les conservateurs-restaurateurs n'ont cessé aujourd'hui d'améliorer leurs connaissances du matériau, de l'objet mais aussi de sa position sur le site pour prédire l'état de dégradation mais aussi et surtout le temps de traitement. Ensuite, vient le temps de la conservation.

Chacun sait que la conservation d'un objet commence dès sa découverte. En matière d'archéologie sous-marine, ce postulat de départ, bien qu'acquis par les archéologues, est aujourd'hui en pratique appliqué sans réelle connaissance des processus d'altération et des conséquences d'une mauvaise conservation. Depuis plusieurs années, le laboratoire Arc'Antique développe ainsi des actions de conservation préventive sur le terrain pour éviter de devoir malheureusement « rattraper » certaines erreurs commises par les archéologues. Nous présenterons dans un premier temps les actions menées en matière de conservation préventive sur des objets ferreux d'origine sous-marine, gangués ou non et leurs limites.

Nous reviendrons brièvement sur le protocole aujourd'hui adopté de manière « quasi » immuable pour le traitement des objets ferreux sous-marins, notamment des pièces lourdes issues du patrimoine en insistant sur les spécificités et les corrections à appliquer dans la gestion des paramètres des électrolyses. Nous insisterons sur les techniques et opérations qui nous ont permis d'améliorer les rendements des traitements et nous concluons cette communication par la présentation d'un nouvel outil mis en place lors d'un traitement « délocalisé » : l'électrolyse à distance.

Cette technique, mise en place à Saint-Malo dans le cadre d'un partenariat avec les régions Bretagne et Pays de Loire, nous permet de traiter un lot de canons à distance tout en gardant un « œil » sur les paramètres du traitement. L'innovation majeure de ce nouvel outil réside d'une part dans le fait que les paramètres de l'électrolyse sont non seulement observables, à distance, mais aussi programmables via les réseaux de communications classiques (téléphone, Internet). Les applications peuvent se révéler multiples, tant dans le traitement par électrolyse de tous types d'objets que dans le transfert de connaissance vers des laboratoires du réseau souhaitant utiliser l'électrolyse comme technique alternative aux techniques chimiques de déchloration.

Des informations complémentaires peuvent être trouvées sur la présentation PowerPoint donnée pendant la Des informations complémentaires peuvent être trouvées sur la présentation PowerPoint donnée pendant la réunion de la section française du groupe de travail Métal, Paris, 28-29 novembre 2006 (se référer à la rubrique Other documents / réunion de la Section Française du groupe Métal sur la page Métal du site d'ICOM-CCC et la rubrique Evènements passés et futurs du site **METALConsn**-info).

**Contact** : Jean-Bernard Mémet (Arc'Antique)

**Financement** : pas de financement externe

## Projets de recherche en cours

### L'utilisation de carboxylate de sodium comme inhibiteur de corrosion du fer (LRMH)

La corrosion atmosphérique et les mauvaises conditions de conservation sont les principales causes de la dégradation des éléments métalliques du patrimoine culturel, qu'ils soient conservés sur des sites protégés au titre des monuments historiques, ou dans des institutions muséales. Des traitements de conservation, ralentissant les échanges entre le métal et le milieu corrosif, peuvent être appliqués aux objets métalliques déjà restaurés mais conservés en environnement non contrôlé, ou aux objets en attente de restauration. De nombreux traitements existent, mais ceux utilisés en conservation-restauration doivent répondre à un certain nombre de critères déontologiques tels que la réversibilité ou la conservation de l'aspect de surface après application. Par ailleurs ils doivent pouvoir agir aussi bien sur des surfaces propres que corrodées.

Dans le cadre de programme de recherche européen PROMET, dont le but est de développer de nouveaux systèmes pour la surveillance et la conservation des objets métalliques du Bassin Méditerranéen, nous mettons au point des solutions inhibitrices à base d'acide carboxylique. Ces solutions sont déjà connues pour avoir de bonnes propriétés inhibitrices sur le zinc, le plomb et le magnésium. Ces mêmes solutions ont été testées sur des surfaces de fer propre et corrodé. Elles présentent en outre l'avantage d'être non toxiques, peu onéreuses, faciles à préparer et réversibles. Des caractérisations de surface d'échantillons traités ont permis de montrer que l'effet inhibiteur est lié à la formation d'une couche hydrophobe de carboxylate de fer à la surface du métal.

Les performances de ces diverses solutions ont été testées par mesures électrochimiques et par vieillissement artificiel en enceinte climatique, simulant des cycles humidité- séchage. La couche protectrice formée par traitement est caractérisée afin de comprendre le mécanisme responsable de l'effet inhibiteur des solutions développées, et, à terme, d'optimiser les traitements de protection.

Des informations complémentaires peuvent être trouvées sur la présentation PowerPoint donnée pendant la réunion de la section française du groupe de travail Métal, Paris, 28-29 novembre 2006 (se référer à la rubrique Other documents / réunion de la Section Française du groupe Métal sur la page Métal du site d'ICOM-CCC et la rubrique Evènements passés et futurs du site **METALConsn**-info).

**Contacts** : Stéphanie Hollner, François Mirambet & Annick Texier (LRMH)

**Financement** : projet européen PROMET

## Nouveaux projets de recherche



EcoNET: Protection du bronze recouvert d'une patine à l'aide de substances organiques non toxiques (ENSCP / DPC-BBU / ISA-DU / FCET-UZ / FFA-UZ / LISE)

En exposition, les objets archéologiques ou historiques en bronze sont au contact d'environnements extérieurs ou intérieurs. Ils souffrent souvent d'une altération substantielle due à une augmentation de la pollution atmosphérique. Il devient donc nécessaire de les protéger avec des couches de patines ou de peinture. L'usage de vernis ou de cire contenant des inhibiteurs de corrosion comme le benzotriazole est très répandu dans les musées mais ils modifient l'aspect visuel de l'objet et l'inhibiteur employé est bien souvent toxique. Dans ce travail, nous proposons d'utiliser des composés non toxiques comme inhibiteurs de corrosion du bronze recouvert d'une patine.

Le bronze utilisé est Cu-6Sn (%wt). Sa composition a été choisie après un travail préliminaire sur plusieurs bronzes trouvés en Transylvanie, Roumanie, datant de la période néolithique. D'abord, la patine a été formée sur le bronze, avec régulation du potentiel, dans une solution de  $\text{NaHCO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4$ , pH 8, pendant 3 jours. Une fine patine bleue ciel a été observée. Ces échantillons ont ensuite été plongés pendant 3 jours dans une solution aqueuse contenant plusieurs inhibiteurs de corrosion. Les solutions organiques retenues étaient 1mM 4-méthyl-1-(p-tolyl)imidazole, 5mM 1-phenyl 4-méthyl-imidazole, 0.1mM 2-mercapto-5-R-amino-1,3,4-thiadiazole, et pour comparaison benzotriazole. La résistance à la corrosion était examinée dans la même solution de fabrication de la patine mais le pH était ajusté à 5 par adjonction de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Le spectre d'impédance montrait pour tous les inhibiteurs 3 cercles capacitifs. Sur la base des valeurs de capacité obtenues, ces cercles ont été attribués au film de surface avec conduction ionique, la capacité de double couche avec la résistance de transfert de charge et le processus d'oxydo-réduction impliquant la patine de surface. L'efficacité de la protection déterminée à partir des résistances augmentait avec le temps d'immersion.

**Contacts:** Hisasi Takenouti (LISE), L. Muresan (DPC-BBU), S. Varvara (ISA-DU), E. Stupnišek-Lisac (FCET-UZ), H. Otmačić (FCET-UZ), K. Tadic (FCET-UZ), S. Horvat-Kurbegovic (FFA-UZ), L. Robbiola (ENSCP), K. Rahmouni (LISE)

**Financement:** EGIDE licence number EcoNet 10 279NA

## Nouveaux projets de recherche



### La maintenance de sculptures en Cor-ten<sup>®</sup> (SABKS)

Depuis le milieu des années 60 jusqu'à aujourd'hui, l'acier Cor-ten<sup>®</sup> est devenu un des matériaux privilégiés pour les sculptures en extérieur. Ce matériau a été utilisé par plusieurs artistes à cause de sa réaction spécifique au climat. De nombreux problèmes de conservation du matériau sont néanmoins apparus suite à de mauvaises utilisations. Ils ont été mis en avant dans un projet de diplôme du programme de recherche 'Conservation d'Objet' à l'Académie d'Art et de Dessin de Stuttgart (SABKS) qui s'est intéressé particulièrement au matériau et à ses couches protectrices de rouille, sa protection, différentes dégradations et leurs causes, sa conservation préventive et les méthodes d'intervention couramment employées.

Il semble contradictoire de recouvrir un acier devant vieillir naturellement à l'atmosphère, or cela a été souvent fait pour éviter des problèmes de corrosion. Aussi, différents vernis utilisés pour des sculptures en extérieur ont été testés sur des coupons en Cor-ten<sup>®</sup> dans le cadre du projet CONSIST (BROMEC 18) au Deutsches Bergbaumuseum Bochum (DBM). Les échantillons en Cor-ten B<sup>®</sup> ont été recouverts des revêtements suivant : des cires microcristallines, des cires utilisées pour la protection d'objets techniques, des résines acrylique et polyuréthane. Les échantillons ont ensuite été vieillis pendant deux mois dans une enceinte climatique avec une humidité relative élevée (mais aussi des cycles de séchage) et dans une enceinte climatique avec une teneur élevée mais variable en gaz SO<sub>2</sub> et en humidité, en utilisant des protocoles développés au DBM dans des projets plus anciens. L'efficacité des différents matériaux testés sera comparée et des applications pratiques seront discutées.

**Contact:** Patrick Decker (SABKS)

**Financement :** pas de financement externe

## Nouveaux projets de recherche

### Caractérisation des couches de rouilles obtenues dans le cas de la corrosion atmosphérique à très long terme : cas du chaînage de la cathédrale d'Amiens (LPS-CEA/CNRS/LMC/CRCM/LADIR/LAE/LRMH)

L'étude de l'état de conservation des tirants et agrafes bases fer anciens, intégrés dans les monuments civils et religieux (époque médiévale tout particulièrement) fait partie intégrante du bilan de santé du patrimoine bâti. Leur conservation sur le long terme n'intéresse pas seulement les professionnels du patrimoine mais également les chercheurs spécialisés dans l'entreposage des déchets nucléaires. En effet la France envisage de les conserver sur des durées multiséculaires en les confinant dans une matrice vitreuse, elle-même incluse dans un sur-conteneur isolant les déchets de l'eau ou de l'air. Le matériau envisagé pour réaliser ce sur-conteneur est un acier doux, connu pour se corroder uniformément. Il sera susceptible d'être soumis à la corrosion atmosphérique sous abris pendant des durées de quelques centaines d'années. Cependant, si le comportement en corrosion du fer et des aciers doux est bien connu pour des expositions inférieures à 50 ans, seuls les analogues archéologiques permettent une étude expérimentale de la corrosion atmosphérique et de ces mécanismes à très long terme.

Il a été démontré par Stratmann [1, 2] que la corrosion atmosphérique du fer est contrôlée par un cycle appelé cycle humidification-séchage pendant lequel les phases constitutives de la couche de corrosion peuvent jouer un rôle. Le but de ces travaux est donc de comprendre quelles phases sont actives dans le processus de la corrosion, et comment elles entrent en jeu au niveau du cycle d'humidification-séchage. Il faut pour cela déterminer la morphologie de la couche de rouille dans le cas de la corrosion atmosphérique.

Un corpus d'échantillons vieux de quelques centaines d'années provenant du chaînage de la Cathédrale d'Amiens a été sélectionné pour deux raisons. En premier lieu, le nombre élevé d'échantillons (plus de 30) permet une étude statistique du développement de la corrosion, et en second lieu, des mesures des conditions atmosphériques (T, RH) sur une durée de plusieurs années ont été entreprises sur ce lieu. Elles permettront de bien modéliser le cycle humidification/séchage à l'origine de la formation des produits de corrosion et font de la cathédrale d'Amiens un site de référence pour l'étude de la corrosion atmosphérique sous abris du fer.

Les surfaces oxydées présentent en microscopie optique une structure en double-couche [3], constituées de lépidocrocite ( $\gamma$ -FeOOH) en zone externe et d'une matrice de goethite ( $\alpha$ -FeOOH) traversée de marbrures d'une autre phase en zone interne. Les analyses de cette phase par micro-spectroscopie Raman et par spectroscopie d'absorption des rayons X (XANES) laissent supposer la présence de ferrihydrite plus ou moins bien cristallisée [4]. Les études menées sur des lames minces d'oxydes par microscopie électronique en transmission et par spectroscopie de perte d'énergie des électrons ainsi que par micro diffraction des rayons X semblent confirmer ces observations aux échelles nano et micrométrique.

Des informations complémentaires peuvent être trouvées sur la présentation PowerPoint donnée pendant la réunion de la section française du groupe de travail Métal, Paris, 28-29 novembre 2006 (se référer à la rubrique Other documents / réunion de la Section Française du groupe Métal sur la page Métal du site d'ICOM-CCC et la rubrique Evènements passés et futurs du site **METALConsn**-info).

#### References :

1. Stratmann, M., *The atmospheric corrosion of iron and steel*. Metallurgica I Odlewnictwo, 1990. **16**(1): p. 46-52.
2. Stratmann, M. and H. Streckel, *On the atmospheric corrosion of metals which are covered with thin electrolyte layers - I. Verification of the experimental technique*. Corrosion Science, 1990. **30**(6/7): p. 681-696.
3. Dillmann, P., F. Mazaudier, and S. Hoerle, *Advances in understanding atmospheric corrosion of iron I - Rust characterisation of ancient ferrous artefacts exposed to indoor atmospheric corrosion*. Corrosion Science, 2004. **46**(6): p. 1401-1429.
4. Neff, D., et al., *Raman imaging of ancient rust scales on archaeological iron artefacts for long term atmospheric corrosion mechanisms study*. Journal of Raman Spectroscopy, 2006. **37**: p. sous presse.

**Contacts :** Judith Monnier (LPS - CEA/CNRS), Philippe Dillmann (Laboratoire Métallurgie et Culture, CNRS IRAMAT UMR 5060 + LPS - CEA/CNRS), I. Guillot (Centre d'Etude et de Chimie Métallurgique, UPR2801), Delphine Neff (Synchrotron SOLEIL), L. Bellot-Gurlet (LADIR, CNRS UM7075), L. Legrand (Laboratoire Analyse et Environnement, UMR 8787 CNRS-Université d'Evry-CEA), François Mirambet (LRMH)

**Financement :** PNR Corrosion atmosphérique / ANR ARCOR / Chim'Art

## Nouveaux projets de recherche

### Constat d'état et diagnostic du violon électronique de Max Mathews conservé à la Cité de la Musique (INP - DR)

La présence de cet objet dans les collections de la Cité de la Musique reflète la volonté du musée de conserver et de présenter aux publics la diversité des instruments de musique existants tant pour leur intérêt esthétique, technique que sonore.

L'étude de cet objet s'avère être assez complexe tant par la diversité des matériaux rencontrés que par le domaine auquel il est rattaché ; celui de la création et de la recherche musicale contemporaine. Notre objectif sera dans un premier temps de dresser un constat d'état exhaustif de l'instrument et de comprendre au mieux sa logique interne, sa cohérence stylistique et la pensée musicale qui l'entoure. Dans un second temps, nous élaborerons un diagnostic des altérations rencontrées. Enfin, en fonction du diagnostic et de l'intérêt muséographique de l'objet, nous développerons des propositions de traitement.

Des informations complémentaires peuvent être trouvées sur la présentation PowerPoint donnée pendant la réunion de la section française du groupe de travail Métal, Paris, 28-29 novembre 2006 (se référer à la rubrique Other documents / réunion de la Section Française du groupe Métal sur la page Métal du site d'ICOM-CCC et la rubrique Evènements passés et futurs du site **METALConsn**-info).

**Contacts** : M-A. Loeper-Attia & Sheherazade Bentouati (INP-DR)

**Financement**: pas de financement externe



## Nouveaux projets de recherche



### Restauration de deux éléments à libation du site de Thugny Trugny (IRRAP)

Deux récipients, rattachés au groupe des ustensiles à banquet ont été restaurés en vue de leur présentation dans le cadre d'une exposition portant sur les Gaulois et le vin au Musée de Bibracte. Ce sont des accessoires servant à la préparation ou à la consommation collective de boisson. L'ensemble est constitué de restes de bandeaux et de plaques en alliage cuivreux et en fer fragmentés, lacunaires et incomplets. Ils proviennent de la nécropole de Thugny Trugny occupée de -150 à -90 av. J.-C.(Tène D1a) située en Champagne dans la Belgique Orientale.

Lors de la restauration, de nombreuses traces techniques conservées à la surface des objets ont été observées et nous ont permis de proposer une restitution de la chaîne opératoire de fabrication de ces éléments. En outre, une série d'analyses qualitatives et quantitatives a été effectuée sur un ensemble d'échantillon en alliage cuivreux cherchant à mettre en évidence la composition du ou des métaux composant les différentes parties. Cette étude nous a aussi amené à proposer une restitution de la forme de ces objets.

Des informations complémentaires peuvent être trouvées sur la présentation PowerPoint donnée pendant la réunion de la section française du groupe de travail Métal, Paris, 28-29 novembre 2006 (se référer à la rubrique Other documents / réunion de la Section Française du groupe Métal sur la page Métal du site d'ICOM-CCC et la rubrique Evènements passés et futurs du site **METALConsn**-info).

**Contact** : Jane Echinard (IRRAP)

**Financement**: pas de financement externe

## Nouveaux projets de recherche

### Cires microcristallines pour la protection des alliages cuivreux exposés en extérieur (PPS / LRMH)

Dans le cadre d'un dossier universitaire, nous avons mené une recherche bibliographique, une enquête auprès de restaurateurs et pris en compte les résultats d'une étude scientifique réalisée au Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques. Nous avons pu mettre en évidence différentes problématiques, tant sur les produits et sur leurs modes d'applications que sur les essais physicochimiques pouvant être réalisés et demandant à être développés.

L'étude de 4 cires microcristallines a été réalisée. Il s'agit de déterminer des critères d'évaluation pour qualifier la protection avant et après vieillissement.

Des informations complémentaires peuvent être trouvées sur la présentation PowerPoint donnée pendant la réunion de la section française du groupe de travail Métal, Paris, 28-29 novembre 2006 (se référer à la rubrique Other documents / réunion de la Section Française du groupe Métal sur la page Métal du site d'ICOM-CCC et la rubrique Evènements passés et futurs du site **METALConsn**-info).

**Contacts** : Typhaine Brocard (PPS) et Annick Texier (LRMH)

**Financement** : pas de financement externe

## Nouveaux projets de recherche

### Méthodologie d'étude des restes organiques minéralisés. Application sur le mobilier funéraire en fer d'une tombe du Haut Moyen Âge, Nécropole de Bruckmühl, Allemagne (PPS)

En contexte funéraire, les objets archéologiques en métal, et particulièrement en fer, conservent souvent dans leur gangue de corrosion des restes d'éléments organiques en cours de décomposition, avec lesquels ils étaient en contact dans la tombe. C'est ainsi que le conservateur-restaurateur rencontre fréquemment, au cours de l'examen préalable d'objets métalliques, des résidus organiques minéralisés dans les produits de corrosion. Témoignages de la présence de costumes ou d'accessoires en matériaux organiques, ces traces peuvent apporter d'intéressantes informations sur la culture matérielle de nos ancêtres, leurs rites funéraires, leur économie, etc. Mais comment recueillir et exploiter ces informations, avant que le conservateur-restaurateur n'applique aux objets les traitements appropriés à leur conservation et à leur restauration, risquant alors de faire disparaître ces restes organiques minéralisés ?

La démarche suivie dans le cadre de ce travail consiste en l'application d'une méthodologie d'étude simple, concrète et accessible, au cours de l'étude préalable de l'objet. Différentes méthodes ont déjà été mises au point durant ces dernières décennies; celle proposée ici s'en inspire et est illustrée de l'exemple des objets en fer d'une tombe de la nécropole mérovingienne de Bruckmühl, en Bavière. Elle se déroule principalement en trois temps:

- la préparation de la surface des objets en métal et des restes organiques à examiner,
- la documentation précise de chaque couche organique observée par la constitution de fiches descriptives et de relevés graphiques,
- l'exploitation des données ainsi consignées, par compilation et par mise en situation du contexte archéologique, à l'aide des relevés effectués sur le terrain.


La cohérence et l'abondance des résultats et des interprétations, obtenus à partir des informations archéologiques contenues dans les restes organiques, dépendent de plusieurs facteurs, et particulièrement du relevé méticuleux des objets et de leur orientation sur le terrain. C'est ainsi qu'un projet d'étude des restes organiques d'une tombe doit être élaboré dès la fouille, au moment du prélèvement des objets métalliques, et doit apparaître précisément dans le protocole de conservation-restauration de ces objets.

Des informations complémentaires peuvent être trouvées sur la présentation PowerPoint donnée pendant la réunion de la section française du groupe de travail Métal, Paris, 28-29 novembre 2006 (se référer à la rubrique Other documents / réunion de la Section Française du groupe Métal sur la page Métal du site d'ICOM-CCC et la rubrique Evènements passés et futurs du site **METALConsn**-info).

**Contact** : Clotilde Proust (PPS)

**Financement** : pas de financement externe

## Nouveaux projets de recherche

 Une boîte en bois argenté avec des plaques en étain doré, Est de la France, XIVème siècle, problématique de nettoyage de la dorure à l'eau des plaquettes en étain. plates (INP-DR)

La boîte en bois argenté Cl.1942 est décorée avec des fine splaquettes en étain qui ont été coulees, percées et dorées à l'eau. Il appartient aux collections du Musée du Moyen-Age–Thermes de Cluny depuis 1851 et est exposé depuis 1998 dans une vitrine de la salle 12 au rez de chaussée de l'hotel de Cluny. Il appartenait auparavant à un collectionneur privé. La dorure de l'étain et l'argenture de la boîte ont été restaurés au 19ème siècle.

Cet objet ne présente pas d'altération mécanique ou chimique majeur. Seule l'apparence esthétique de l'objet n'est pas clairement lisible. La boîte a été entièrement recouverte de colle animale, sans doute de la colle de lapin. Elle a vieilli et a souffert des variations climatiques et de la poussière. La couche externe de la colle s'est foncée, masquant l'éclat de l'argenture et de la dorure.

Pour résoudre ce problème de lisibilité, des tests de nettoyage ont été réalisés à Electricité de France – Division Valectra, avec des argiles absorbantes isolées du substrat avec des membranes cellulosiques pour réhydrater la colle, écarter les protéines de collagène et absorber les impuretés présentes dans la colle animale et responsables de son noircissement.

**Contact** : Aurélie Champart (INP-DR)

**Financement**: pas de financement externe.

## Nouveaux projets de recherche

### Restauration de deux bassins en alliage cuivreux du site de Quend (INP-DR)

Ce travail de conservation restauration a été mené sur deux bassins en alliages cuivreux gallo-romains morcelés et lacunaires mis à jour sur le site de Quend en Normandie et dévolus au musée d'Abbeville. Ces deux pièces ont été réalisées dans un matériau similaire mais leur technique de fabrication diffère. Après exécution de tests portant sur l'adhésion et le comblement des lacunes en vue d'un remontage et de consolidations, deux modes opératoires différents ont été proposés.

Des informations complémentaires peuvent être trouvées sur la présentation PowerPoint donnée pendant la réunion de la section française du groupe de travail Métal, Paris, 28-29 novembre 2006 (se référer à la rubrique Other documents / réunion de la Section Française du groupe Métal sur la page Métal du site d'ICOM-CCC et la rubrique Evènements passés et futurs du site **METALConsn**-info).

**Contacts** : Shéhérazade Bentouati & Laurence Caru (INP-DR)

**Financement** : pas de financement externe

## Nouveaux projets de recherche



Conservation d'un avion DC-3 avec des inhibiteurs de corrosion (NSMMH / AM / AFM)

Le 13 juin 1952, un avion militaire suédois disparaissait en mer Baltique. Il a été recherché activement mais trois jours plus tard un Catalina suédois qui participait aux recherches fut abattu par des tirs russes. Le seul objet récupéré provenant du DC-3 en 1952 a été un gilet de sauvetage endommagé par des grenades. Ces événements s'insèrent dans l'histoire de la Guerre Froide, bien connue des suédois par les médias et la littérature de 1952 jusqu'à nos jours.

En 2003, une équipe de recherche indépendante a trouvé le DC-3 dans les eaux internationales de la mer Baltique. Après une investigation scientifique poussée, il a été décidé de conserver l'avion au Musée National Suédois de l'Histoire Militaire et de l'exposer au Musée de l'Armée de l'Air.

Le matériau principalement rencontré sur le DC-3 est un alliage de cuivre et d'aluminium mais on décèle aussi la présence de nombreux matériaux rarement trouvés dans des fouilles marines. Ainsi des assemblages de bois, métal, cuir et d'élastique, ou de plastiques et de métaux sont assez courants. La principale difficulté a été le traitement de ces objets composites. En l'absence de traitements adéquats, des procédures de conservation préventive comme le maintien en atmosphère sèche ou dépourvue d'oxygène a permis de gagner du temps. Le degré de dégradation de ces différents matériaux va de la décomposition complète à une parfaite conservation.

La consultation de la littérature sur les techniques de conservation-restauration des objets base aluminium nous a révélé que ce domaine est encore peu étudié. Cela nous a conduits à initier un projet pour l'établissement de méthodes de conservation-restauration adaptées. Les conditions de conservation de cet objet sont inhabituelles puisqu'il s'agit d'une épave et que celle-ci le restera. Il sera exposé dans un espace ressemblant au fond sous-marin. Dans ce contexte la limite entre la patine de surface et la saleté est difficile à définir. De nombreuses parties ne peuvent être nettoyées sans perdre la patine et sans nettoyage, il y aura toujours une contamination par les chlorures, espèces très hygroscopiques. Dans ce cas, l'utilisation d'inhibiteurs semble indispensable pour prévenir la corrosion. Les produits en vente sur le marché sont soit dangereux à manipuler, soit leur efficacité ne peut être garantie sur un objet comme le DC-3.

Le Projet de Conservation de l'Aluminium en est à sa phase de programmation. Il faut du temps pour déterminer comment les tests doivent être menés afin d'obtenir les résultats les plus probants. Il y a de toute manière une grande quantité de matériau original laissé suite au travail de diagnostic et qui permettront de réaliser des essais de traitement en conditions réelles.

**Contact:** Christina H. Tengner (AM)

**Financement:** National Swedish Museums of Military History, Army Museum & Air Force Museum

## Nouveaux projets de recherche



Mylar, reproduction de l'alliage, les traitements de surface et les options de conservation (BM)

En 2005, M. et Mme R. Isaacs donnèrent au British Museum (2005.01-15.1-25) une collection de 25 boîtes birmanes en tilleul datant du 19ème et début 20ème siècle. Lors de la restauration de 10 de ces boîtes, apparurent des problèmes mettant directement en cause le *mylar*. *Mylar* est un alliage de type "bronze noir" (cuivre avec de faibles teneurs en or, argent ou arsenic avec quelquefois de l'étain, plomb ou fer) produit en Birmanie.

Les objectifs de ce projet sont d'approfondir notre connaissance du *mylar* et de son traitement de surface, d'identifier les matériaux originels et le mode de construction des objets suspectés d'avoir perdu leur patine de surface originelle et d'établir des stratégies de conservation – restauration sur une sélection de ces boîtes en tilleul.

En examinant certaines surfaces noires, on a pu constater que la brillance de surface avait été altérée par les traitements de conservation-restauration. Ceci est sûrement dû à l'élimination partielle de la couche de crasse / saleté ou d'une couche de cire qui saturait la patine de surface. Lors de l'observation de boîtes en *mylar* non restaurées en vue de comprendre leur mode de fabrication, il est apparu que plusieurs avaient perdu leur patine sur les différents alliages et que le métal nu était exposé.

Les 7 alliages différents utilisés pour la fabrication de ces boîtes ont été reproduits (par coulée, martelage, laminage / tirage et soudage) et combinés en une seule tôle. La tôle a été divisée en 7 échantillons pour tester les techniques / étapes suivantes : 2 techniques de patine, élimination de la patine, repatinage, ternissement de la surface et application de vernis. Les techniques d'observation des surfaces de ces échantillons sont les suivantes : microscopie optique, mesures de la couleur et analyses en fluorescence X. Certains alliages seront observés par microscopie électronique à balayage et diffraction de rayons X.

### Référence:

P.T. Craddock, M. van Bellegem, P. Fletcher, R. Blurton and S. La Niece. *The Black Bronzes of Asia, The 6<sup>th</sup> International Conference on the Beginnings of the Use of Metals and Alloys*, Preprint (2006)

**Contact:** Maickel van Bellegem ([mbellegem@thebritishmuseum.ac.uk](mailto:mbellegem@thebritishmuseum.ac.uk))

**Financement:** pas de financement externe.

## 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**: 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 ».
- **METALConsn**-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/](http://www.tecore.unibo.it/html/Lab_Microscopia/M2ADL/)
- Site de la New York Conservation Foundation: <http://www.nycf.org/>
- **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** . 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](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

**-Séminaire 2006 en Science en conservation** (11-16 novembre 2006, Sommerset, USA) organisé par l'EAS / NYCF. Un séminaire spécialisé sur l'utilisation des techniques électrolytiques dans la conservation des métaux. Pour plus d'informations : <http://www.NYCF.org/eas.html>

**-Matériaux 2006 – Fonctionnalisation des surfaces – interfaces** (13-17 novembre 2006, Dijon, France) Pour plus d'informations : [www.materiaux2006.net](http://www.materiaux2006.net)

**-L'Homme et la matière – L'emploi du plomb et du fer dans l'architecture gothique** (16-17 novembre 2006, Noyon, France) organisé par l'Agence Régionale du Patrimoine de la Picardie. Pour plus d'informations : [www.arpp.org](http://www.arpp.org)

- Atelier stratégique **COST stratégie** : "Héritage culturel et Science : une approche interdisciplinaire pour la conservation d'objets de musée » (5-7 Décembre 2006, Université de Ghent, Belgique). Pour plus d'informations, consulter le site web: <http://www.analchem.ugent.be/ESA/chs2006/>

**-Approches pour l'étude d'épées anciennes.** (16-18 Janvier 2007, Alcalá de Henares, Madrid, Espagne) Organisé par IH-CSIC, IPHE et UAH. Pour plus d'informations contacter Marc Gener ([mcgener@cenim.csic.es](mailto:mcgener@cenim.csic.es))

**-Stratégies de Conservation pour la Sauvegarde de Collections Métalliques en Intérieur** (CSSIM) (25 février – 1<sup>er</sup> 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](mailto:mharithm@egypt.com))

- **Conservation Science 2007** (10-11 Mai 2007) organise 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](mailto:joyce.townsend@tate.org.uk))

**-Archéométaballurgie en Europe** (mai ou juin 2007, Grado et Aquileia, Italie) organisé par l'Association Italienne de Métaballurgie. Pour plus d'informations : [www.aimnet.it/archeometallurgy2.htm](http://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](http://www.metal07.org)

- **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](http://www.cci-icc.gc.ca/symposium/index_e.aspx)

---

## Abréviations et sigles

**AFM:** Air Force Museum

**AM:** Army Museum

**ATG:** Analyse Thermogravimétrique

**CCQ :** Centre de Conservation du Québec

**CNR-ISMN:** Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per lo Studio dei Materiali Nanostrutturati

**DPC-BBU :** Dept. Physical Chemistry, Babes-Bolyai University, Cluj-Napoca, Romania

**DRX:** Diffraction des rayons X

**ENSCP :** Ecole nationale Supérieure de Chimie de Paris, France

**FCET-UZ :** Faculty of Chemical Engineering and Technology, University of Zagreb, Zagreb, Croatia

**MEBEC:** Microscope Electronique à Balayage à Emission de Champ

**FFA-UZ :** Faculty of Fine Arts, University of Zagreb, Zagreb, Croatia

**HE-ARC:** Haute Ecole ARC de la Chau de Fonds, CH

**INP – DR :** Institut National du Patrimoine – Département des Restaurateurs

**IRRAP:** Institut de Restauration et de Recherches Archéologiques et Paléométallurgiques

**ISA-DU :** Institute of Systemic Archaeology, 1 Decembrie University, Alba-Iulia, Romania

**LISE :** Laboratoire Interfaces et Systèmes Electrochimiques - Unité Propre de Recherche du CNRS, Paris, France

**LPS-CEA/CNRS:** Laboratoire Pierre Süe – Centre d'Etudes Atomiques / Centre National de la Recherche Scientifique

**LRMH:** Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques

**NSMMH:** The National Swedish Museums of Military History

**PNRC:** Programme national de recherche sur la connaissance et la conservation des matériaux du patrimoine culturel

**PPS:** Université Paris I Panthéon-Sorbonne

**SABKS:** Staatliche Akademie der Bildenden Kuenste Stuttgart

**SPX:** Spectroscopie de Photoélectron des rayons X

---

## Contacts

**Maria Pia Cataletto/** CNR-ISMN ([casaletto@pa.ismn.cnr.it](mailto:casaletto@pa.ismn.cnr.it))

**Shéhérazade Bentouati /** INP – DR ([echaraz@yahoo.fr](mailto:echaraz@yahoo.fr))

**Typhaine Brocard /** PPS ([brocard.rosa@tele2.fr](mailto:brocard.rosa@tele2.fr))

**Laurence Caru /** INP-DR ([lolcaru@hotmail.com](mailto:lolcaru@hotmail.com))

**Aurélie Champart /** INP-DR ([aurelie.champart@wanadoo.fr](mailto:aurelie.champart@wanadoo.fr))

**Virginia Costa /** IRRAP ([virginia.costa@gmail.com](mailto:virginia.costa@gmail.com))

**Blandine Daux /** CCQ ([Blandine.Daux@mcc.gouv.gc.ca](mailto:Blandine.Daux@mcc.gouv.gc.ca) & [dinedaux@hotmail.com](mailto:dinedaux@hotmail.com))

**Patrick Decker /** SABKS ([Patrick.Decker@gmx.de](mailto:Patrick.Decker@gmx.de))

**Philippe Dillmann /** LPS-CEA/CNRS ([philippe.dillmann@cea.fr](mailto:philippe.dillmann@cea.fr))

**Jane Echinard /** IRRAP ([irrap@aol.com](mailto:irrap@aol.com))

**Marie-Anne Loeper-Attia /** INP-DR ([loeperattia@noos.fr](mailto:loeperattia@noos.fr))

**Jean Bernard Mémet /** Arc' Antique ([jbmemet@yahoo.fr](mailto:jbmemet@yahoo.fr))

**François Mirambet /** LRMH ([francois.mirambet@culture.gouv.fr](mailto:francois.mirambet@culture.gouv.fr))

**Maria Pia Cataletto/** CNR-ISMN ([casaletto@pa.ismn.cnr.it](mailto:casaletto@pa.ismn.cnr.it))

**Clotilde Proust /** PSS ([clotildeproust@yahoo.fr](mailto:clotildeproust@yahoo.fr))

**Solenn Reguer /** Synchrotron SOLEIL ([solenn.reguer@synchrotron-soleil.fr](mailto:solenn.reguer@synchrotron-soleil.fr))

**Hisasi Takenouti /** LISE ([ht@ccr.jussieu.fr](mailto:ht@ccr.jussieu.fr))

**Antonin Tarchini /** HE-ARC ([antonin.tarchini@he-arc.ch](mailto:antonin.tarchini@he-arc.ch))

---

**Christina H. Tengner** / AM ([christina.h.tengner@armemuseum.se](mailto:christina.h.tengner@armemuseum.se))  
**Annick Texier** / LRMH ([annick.texier@culture.gouv.fr](mailto:annick.texier@culture.gouv.fr))  
**Maickel van Bellegem** / BM ([mbellegem@thebritishmuseum.ac.uk](mailto:mbellegem@thebritishmuseum.ac.uk))

---

Points de contacts nationaux pour le portail **METALCons**-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, Camberra

**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 Degrigny, chercheur en conservation, Château de Germolles, Germolles

**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 Degrigny, chercheur en conservation, Diagnostic Science Laboratories, Heritage Malta, Kalkara.

**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 indépendant, 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.