

Rédacteur:
Christian Degrigny
Christian_degrigny@hotmail.com

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

METALConsn-info



Février 2003

BROMECS

Editorial

Nous fêtons ce mois-ci le premier anniversaire de notre Bulletin! Il y a un an maintenant naissait le BROMECS. Depuis celui-ci s'est nettement développé. Des 10 pays ayant des correspondants nationaux, nous approchons actuellement des 20 et depuis septembre dernier la diffusion du BROMECS s'est étendue à l'ensemble des membres du groupe de travail Métal d'ICOM-CC.

Pratiquement cela signifie pour tous une meilleure vision de la recherche en conservation-restauration du métal à travers le monde. Tout type de sujet est traité dans notre bulletin. Jusqu'à maintenant 32 projets différents ont été présentés. Les uns ont abouti, d'autres sont en cours de réalisation. Une partie d'entre eux n'a toujours pas commencé et des collaborations sont toujours recherchées.

Notre bulletin n'existerait pas sans la participation active et volontaire des correspondants nationaux qui rassemblent au niveau de leur pays des informations sur des projets de recherche. Les tâches d'un correspondant national et les qualités requises pour les mener à bien ont été discutées récemment entre les correspondants nationaux existant. Ces informations particulièrement importantes pour les futurs correspondants nationaux sont disponibles sur demande.

Beaucoup de travaux intéressants sont menés en Amérique latine. Certains d'entre vous connaissent bien Johanna Theile qui a organisé en 2001 la réunion intermédiaire du groupe de travail à Santiago du Chili. Johanna met en place un nouveau séminaire au printemps 2003 qui portera sur la conservation-restauration du métal en Amérique latine (voir la section conférence et séminaire). Le séminaire sera en langue espagnole mais nous envisageons de traduire les résumés en anglais et en français. En dehors du Chili, d'autres pays s'intéressent également à la recherche en conservation-restauration du métal. En Argentine des collègues travaillent depuis des années sur la corrosion atmosphérique des monuments en bronze exposés en extérieur. Il semble donc raisonnable que ces pays aient leurs propres correspondants nationaux. Après discussion il a été convenu que Johanna continuera à représenter le Chili. Blanca Rosales et Miguel Crespo représenteront désormais l'Argentine. Quant aux autres pays comme le Brésil, des correspondants nationaux pourraient bientôt être suggérés.

Dans certains pays des groupes de travail soutiennent de manière particulièrement active des activités de recherche sur la conservation-restauration du métal. Ainsi en France le groupe de travail ChimArt spécialisé dans l'étude du mobilier du patrimoine culturel a organisé deux réunions en 2002 où les acteurs impliqués dans l'étude des processus métallurgiques, la corrosion métallique ou la conservation du mobilier métallique ont présenté leurs travaux les plus récents. Pour le détail des projets de recherche présentés consulter la section "recherche en cours".

La version française du BROMECS est désormais disponible. Les membres français du groupe de travail la recevront automatiquement. Les autres membres souhaitant l'obtenir doivent se signaler auprès du rédacteur.

Le rédacteur
Christian DEGRIGNY

Sommaire

	page
Projets de recherche en cours	
 Réunions ChimArt 2002	3
 Nouveau concept de désalinisation d'objets archéologiques en fer en solutions neutres	4
 Les toits en plomb au Danemark	5
 Une étude comparative de systèmes de revêtements de protection pour les sculptures en bronze exposées en extérieur en milieu marin	7
 Réduction plasma, son utilisation en conservation-restauration du métal	8
 Etude technologique d'un reliquaire roman	9
 Corrosion du cuivre, de ses alliages et de minerais de cuivre due au soufre et aux composés de soufre réduit	10
 Problèmes de conservation autour du cuirassé de la guerre civile USS <i>Monitor</i>	11
Nouveaux projets de recherche	
 COLLAPSE – Corrosion du plomb et des alliages plomb-étain des tuyaux d'orgues en Europe	12
 Fragilisation de l'argent par le plomb sur des objets archéologiques	13
 Recherche sur les possibilités de traitement des soudures à l'étain sur l'argent	14
 Recherche sur le nettoyage du fer oxydé par attaque acide sous protection cathodique	15
 Transformations produites lors du stockage à sec de fers archéologiques	16
 Comparaison entre la réduction galvanostatique et potentiostatique du plomb	17
 Transformations post fouille du fer archéologique	18

Projets de recherche en cours

Réunions ChimArt 2002

Dans la suite seuls sont donnés les titres des conférences et des posters présentés lors des réunions. Pour plus de renseignements se référer aux personnes à contacter.

Juillet 2002 (à Arc' Antique, Nantes)

Conférences données:

- **D. Bourgarit & B. Mille** : Réduction de minerais de sulfure de cuivre pendant la période Chalcolithique : approches expérimentales et archéologiques, david.bourgarit@culture.fr
- **F. Mirambet** : Inhibition de la corrosion du fer en présence de carbohydrates de sodium, francois.mirambet@culture.fr
- **H. Takenouti** : La corrosion et la passivation du cuivre en présence de composés aminés, mke@ccr.jussieu.fr
- **M. Aucouturier** : Oxydation à haute température des bronzes, marc.aucouturier@culture.fr
- **B. Mille** : Spectroscopie Raman des produits de corrosion, benoit.mille@culture.fr
- **M. F. Guerra** : Analyse des objets en or par PIXE, PIGE PIXE-XRF, même adresse électronique que B.Mille
- **L. Rossetti** : Traitements des objets archéologiques en plomb par polarisation cathodique en solution sulfatée, arcantique.metaux@wanadoo.fr
- **S. Lemoine** : Objets archéologiques en fer étamé : problèmes liés à la dégradation de la couche d'étain en solution de sulfite alcalin, arcantique.metaux@wanadoo.fr
- **R. Bertholon** : Présentation de la méthode de corrosion descriptive, regis.bertholon@univ-paris1.fr

Décembre 2002 (au C2RMF, Paris)

Présentation des posters :

- **J. Steinmetz, E. Rocca, C. Rapin & F. Mirambet** : Traitement temporaire du patrimoine technique et industriel, francois.mirambet@culture.fr
- **B. Chevalier, L. Fournes, F. Mirambet & A. Wattiaux** : Protection du fer du patrimoine industriel, chevalie@icmb.u-bordeaux.fr
- **D. Neff, E. Vega, S. Reguer, E. Wasjgros & P. Dillmann** : Objets archéologiques en fer ensevelis dans des sols argileux : évaluation des vitesses de corrosion et typologie des faciès de corrosion, NEFF@drecam.cea.fr
- **D. Neff, R. Bertholon, L. Bellot-Gurlet & P. Dillmann** : Faciès de corrosion des objets archéologiques en fer, complémentarité des approches et des analyses macroscopiques et microscopiques, NEFF@drecam.cea.fr
- **L. Beck, D. Bregiroux, S. Bosonnet, D. Eliot, S. Reveillon & F. Pilon** : Analyses des monnaies romaines en or et en argent, lucile.beck@cea.fr
- **L. Beck, S. Bosonnet, D. Eliot, S. Reveillon & F. Pilon** : Enrichissement de surface des monnaies en argent au cours des étapes de fabrication, lucile.beck@cea.fr
- **T. Calligaro, M. Guerra, J.C Dran, J. Salomon, B. Moignard & L. Pichon** : L'or et les grenats dans la bijouterie mérovingienne, thomas.calligaro@culture.fr

Projets de recherche en cours

Nouveau concept de désalinisation d'objets archéologiques en fer en solutions neutres (IAASRT / SPC)

Afin d'extraire de manière efficace les chlorures d'objets archéologiques en fer contenant des restes organiques ou des métaux associés (tels le bronze ou l'argent), des stabilisations électrochimiques (avec ou sans courant extérieur) en milieu neutre sont proposées. Selon le diagramme de Pourbaix potentiel – pH, les valeurs de pH et de potentiel E comprises entre $\text{pH} = 5-6$ et $E = -410 \pm 50 \text{ mV}$, correspondant à la stabilité de Fe_3O_4 , sont considérées comme adéquates. A pH neutre, aucun hydroxyde de fer ne devrait bloquer la migration externe des espèces chlorurées concentrées au fond des piqûres. On suppose alors que les chlorures sont extraits sous la forme de chlorures ferreux, FeCl_2 solubles

Les potentiels requis ont été obtenus soit à l'aide d'agents réducteurs (mélange d'un tampon de phosphate et de solutions d'acide ascorbique, benzoate d'hydrazine) ou par polarisation cathodique dans un tampon de phosphate et de solutions de benzoate de sodium. Les solutions sont également choisies afin d'assurer la stabilité des autres métaux et des matériaux organiques trouvés sur les objets composites.

L'analyse des chlorures permet de suivre le traitement de désalinisation et l'exposition des objets en chambre humide en détermine l'achèvement. Les cinétiques de la stabilisation sont évaluées comme l'effet de cette dernière sur les couches de corrosion au cours des étapes ultérieures du traitement de conservation (nettoyage mécanique).

Une fois les conditions expérimentales établies sur une sélection d'objets archéologiques, de nouveaux essais comparatifs ont été menés sur une collection d'objets archéologiques en fer datant de la même période et provenant du même site archéologique. Des échantillons ont été donnés à 9 laboratoires de conservation-restauration différents de la République Tchèque où ont été testés à la fois nos nouveaux protocoles comme les techniques de stabilisation traditionnelles par immersion en eau déionisée, dans le sulfite alcalin et dans l'hydroxyde de lithium. Il était prévu que les résultats obtenus feraient l'objet d'une revue critique mais une partie de ceux-ci a été perdue lors des inondations de l'automne 2002. Un séminaire a néanmoins été organisé en novembre 2002 à Brno afin de comparer les résultats qui ont survécu aux inondations.

Ces premières expériences ont montré que les nouveaux protocoles offrent une alternative intéressante au traitement au sulfite alcalin. Ils sont en effet adaptés aux objets comportant des matériaux organiques (le mélange d'un tampon de phosphate et de solutions d'acide ascorbique donne les meilleurs résultats) ou des métaux associés (le benzoate d'hydrazine est meilleur ici). Un meilleur contrôle de la stabilisation est obtenu si celle-ci est menée par polarisation cathodique. En raison des données perdues pendant les inondations certaines expériences doivent être répétées afin de confirmer ces résultats préliminaires.

Contacts: Alena Silhova (IAASRT) & Milan Prazak (SPC)

Financement: Ministère de la Culture de la République Tchèque

Projets de recherche en cours

■ ■ ■ Les toits en plomb au Danemark (*SHMR-MND / Laboratoire NKT Cables A/S/ DC-MND*)

Le matériau prédominant des toits des églises et des cathédrales est la tuile, bien que les couvertures de plomb ou de cuivre soient aussi courantes. De 1998 à 2002 la Section d'Histoire Médiévale et de la Renaissance du Musée National du Danemark, a réalisé une étude sur les toits d'église en plomb. Le Ministère Danois des Affaires Ecclésiastiques a apporté son soutien financier tandis que la partie analytique a été conduite par le laboratoire NKT Cables A/S.

Il semble probable qu'à une certaine époque des plaques de plomb aient été utilisées préférentiellement pour couvrir les églises danoises. Comme conservateurs et consultants pour les églises historiques, nous avons noté que les toits en plomb étaient refondus tous les 30-60 ans alors qu'à l'origine ils étaient faits pour durer de 100 à 200 ans. A partir de cette observation, on a décidé d'étudier si la qualité du plomb avait changé au cours du temps. Ce changement pourrait être produit par le processus de fonte lui-même ou par l'addition de plomb dit pur pendant la fonte. Les raisons invoquées et la documentation pour la refonte des toits en plomb entre les années 1998-2001 ont été examinées. La fonte et les techniques de montage des toits ont été étudiées et 54 échantillons provenant de plaques de toit en plomb ont été collectés. Les plaques ont été fondues entre 1702 et 2001. Afin de disposer de matériaux de comparaison, quelques échantillons des pays voisins ont été étudiés en parallèle : un du sud de l'Allemagne, deux d'Ecosse et 5 d'Angleterre.

Les plaques en plomb de Grande Bretagne sont produites industriellement. Il en résulte l'obtention de plomb de bonne qualité contenant certaines inclusions spécifiques mais respectant la norme (*British Standard 1178 - Milled Lead Sheet for Building Purposes*). La situation est très différente au Danemark. Ici l'ancien commerce des fondeurs de plomb et des réparateurs de toits en plomb existe toujours, et il n'y a aucune norme pour un plomb d'une certaine qualité. Le plomb qui est démonté d'un toit d'église est refondu et réutilisé pour le nouveau toit de la même église, et toutes les étapes de l'opération sont conduites par un artisan à son compte. Des restrictions liées aux règlements sanitaires et de meilleur confort de travail ont modifié en partie ces étapes mais l'opération reste plutôt du domaine de l'artisanat que de celui de l'industrie. Même s'il n'y a pas de volonté de modifier cette approche traditionnelle, il était souhaitable de sensibiliser les professionnels à la signification de la composition du plomb utilisé ainsi qu'aux techniques de montage.

Le laboratoire NKT a réalisé trois spectres d'analyse sur chacun des 62 échantillons. Les spectres donnent le pourcentage des éléments d'addition significatifs. Seuls de faibles changements dans la composition des matériaux apparaissent avec le temps. On s'est particulièrement intéressé aux pourcentages en cuivre, en tellure, en étain, en antimoine et en argent afin de montrer si la qualité du métal fondu lui permettait de résister aux effets de la fatigue et de l'affaissement (lente déformation avec le poids). Pour ces informations métallurgiques l'auteur a dû compter sur l'expérience que NKT a acquis dans le cadre de précédents travaux sur la production de câbles en plomb et sur les résultats obtenus par Sivaraman Guruswamy¹.

Le pourcentage en étain et en bismuth ont augmenté avec le temps alors que celui des autres éléments a baissé. Les changements restent minimaux et dans le rapport final il est stipulé que

ceux-ci n'ont en fait que très peu d'effet. Pour un certain nombre d'échantillons s'est posée la question de savoir si la qualité était suffisante bonne. Ainsi le pourcentage en cuivre est parfois entre les limites inférieures et supérieures données par la norme anglaise (0.03-0.06%), mais celui-ci se trouve très souvent au dessus de la limite supérieure ou dans la majorité des cas en dessous de la limite inférieure. Mais ces écarts n'apparaissent pas significatifs tant que le métal fondu contient d'autres éléments, comme le tellure, l'étain, l'antimoine et l'argent, qui compensent l'effet du cuivre en maintenant une bonne résistance du métal à la fatigue et à l'affaissement.

D'une manière générale les normes anglaises apparaissent comme des recommandations plutôt que comme des réglementations définissant une unique composition à respecter ; et ceci est une donnée essentielle lorsque, comme dans le cas du Danemark, l'artisanat traditionnel existe toujours et que le même plomb est réutilisé.

Alors que dans un nombre de cas très limité l'étude de la composition a confirmé la nécessité d'un réajustement du pourcentage des éléments d'addition, l'examen des raisons qui ont conduit à la refonte des toits en plomb a montré qu'elles étaient plutôt basées sur le sens commun. On a montré que même si le nombre de cas où les autorités religieuses ayant approuvé la refonte d'un toit en plomb n'a pas augmenté sur une période de 40 ans, chaque incident prend désormais de plus larges proportions. Ainsi lorsque des fuites sont constatées dans un endroit tel que le côté sud de la nef, tout le toit du côté sud est refondu. Souvent l'artisan ou l'architecte signalent qu'il est plus économique de refondre tout le toit de l'ensemble du bâtiment, chœur, nef, tours et porche, en même temps plutôt qu'à diverses occasions sur un certain nombre d'années. On signale dans certains cas que « l'effet est le meilleur lorsque le toit de l'ensemble du bâtiment a été refondu en une seule fois ». Il apparaît que ces considérations économiques et esthétiques sont devenues des raisons importantes expliquant pourquoi un toit en plomb n'est que rarement conservé au delà de 60 ans. La partie en état du toit est simplement éliminée et n'est donc pas utilisée pendant toute la période de sa tenue potentielle. Dans le report il est indiqué qu'on ne devrait peut-être pas s'attendre à ce qu'un toit en plomb dure 100-200 mais plutôt 50-300 ans à condition qu'il soit refondu seulement lorsque les plaques ont servi durant le temps requis et sont déchirées.

Toutes les églises disposant de toits en partie ou totalement recouverts de plaques de plomb ont été inventoriées par le musée dans le cadre du projet. Cela a montré que les toits de plus de 800 églises et de cathédrales danoises sont couverts de plaques de plomb. La tradition danoise des réparateurs de toits a depuis les 20 dernières années été réintroduite dans le sud de la Suède où environ 30 églises possèdent des toits en plomb mais où le commerce du métal a disparu depuis le début du 20^{ème} siècle. Au Danemark les 800 églises avec toit en plomb sont entretenues par 3 entreprises qui se sont spécialisées dans le travail du plomb.

Contacts: Per Nielsen (SHMR-MND) en collaboration avec Birgit-Margrete Procida (Laboratoire NKT A/S) & Birgit Sørensen (DC-MND)

Financement: Ministère Danois des Affaires Ecclésiastiques

1. Guruswamy, S., *Engineering Properties and Applications of Lead Alloys*. New York 2000

Projets de recherche en cours

Une étude comparative de systèmes de revêtements de protection pour les sculptures en bronze exposées en extérieur en milieu marin (CNR-ISMAR-UOCMM)

L'objectif principal du projet de recherche qui suit est de caractériser les propriétés de protection et les autres qualités de quelques revêtements appliqués sur des bronzes exposés en extérieur. De plus nous cherchons aussi à trouver et à discuter d'une méthodologie adéquate pour tester de tels systèmes de revêtement, en nous intéressant tout particulièrement au rôle des patines naturelles sur leur comportement. Nous considérons également les applications possibles des méthodes électrochimiques pour l'évaluation sur le terrain des stratégies de conservation-restauration.

Le comportement de six systèmes de revêtements de protection largement utilisés en conservation-restauration est actuellement testé : trois cires microcristallines (Soter LC, R21, Tromm TeCe 3534F), un revêtement organique (Incralac) et deux systèmes double-couche (Incralac+ Soter LC, Incralac+ R21). Des coupons polis d'une fonte de bronze (Cu 90%, Sn 8%, Pb 2%) à la fois nus et revêtus par les systèmes de protection sélectionnés ont été exposés à un vieillissement naturel dans un environnement urbain et marin (site d'exposition de CNR-UOCMM situé à l'intérieur du port). En parallèle six zones présentant différentes patines ont été sélectionnées sur un monument en bronze (Monumento ai Mille" by E.Baroni, 1910) situé juste en front de mer, et à proximité du site d'exposition d'UOCMM. Dans ces zones un nombre de surfaces (6 x 4.5 cm) ont été restaurées et traitées avec les mêmes systèmes de protection. Plusieurs techniques analytiques ont été utilisées pour caractériser les patines et les revêtements. Des échantillons de patine de la statue ont été caractérisés par diffraction des rayons X (DRX), tout autant que la patine formée sur les coupons polis non protégés après 1-3-12 mois de vieillissement. Une méthode de mesure spécialement adaptée basée sur la Spectroscopie d'Impédance Electrochimique (SIE) est utilisée pour caractériser et comparer les performances protectrices avec le vieillissement à la fois sur les coupons et sur le monument. Des mesures de Rp (Résistance de Polarisation) à différents temps de vieillissement ont été menées afin de comparer le comportement des revêtements au niveau des différentes zones du monument. Des données colorimétriques (méthode spectrophotométrique) sont en cours d'évaluation à la fois sur les coupons et sur des zones testées sur le monument. Un rapport d'inspection visuelle a été réalisé par un conservateur-restaurateur après 15 mois de vieillissement sur le monument.

Malgré une assez large dispersion de données, la comparaison des résultats d'impédance obtenus pour les revêtements appliqués sur les coupons de bronze nettoyé et sur la surface du bronze patiné du monument suggère une différence de comportement avec le vieillissement. D'autres mesures sont en cours mais sur de plus longues durées d'exposition. Les valeurs d'impédance obtenues sur les coupons sans revêtement mettent en lumière les propriétés de protection quasi négligeables apportées par la patine du bronze développée en milieu marin. Toutefois le comportement différent des revêtements sur les coupons en bronze et sur le monument suggère un rôle non négligeable des patines naturelles sur le comportement des revêtements appliqués en conservation-restauration. Ceci confirme des observations similaires obtenus sur des bronzes patinés artificiellement.

Les futurs développements de ce travail comportent la caractérisation du comportement des revêtements sur des coupons vieillis 3,12 mois, afin de vérifier si cette approche nous donne des résultats plus proches de ceux obtenus sur le monument. La comparaison des résultats analytiques obtenus avec différentes techniques de caractérisation est en cours.

Contact: Paola Letardi (CNR-ISMAR-UOCMM)

Financement: PF Beni Culturali – pas de financement externe actuellement

Projets de recherche en cours



Réduction plasma, son utilisation en conservation-restauration du métal (MNS, CC)

La réduction plasma par de l'hydrogène basse pression est utilisée au Musée National Suisse pour la conservation-restauration du métal depuis 1990. Suite à l'évaluation critique de la méthode en 1994 des changements majeurs ont été introduits. Aujourd'hui ce procédé est devenu une partie intégrante des protocoles de conservation-restauration appliqués aux ferreux archéologiques. Ses principaux avantages sont l'amélioration du nettoyage mécanique et la plus grande rapidité des étapes successives de désalinisation au sulfite alcalin^{2,3,4}.

Par ailleurs le plasma haute fréquence permet de proposer une alternative intéressante aux nettoyages traditionnels des objets historiques en argent. L'utilisation de la réduction plasma et de ses effets sur différentes surfaces en argent a été étudiée. On a pu montrer que la réduction plasma est une méthode particulièrement adaptée aux objets en argent trop fragiles pour être nettoyés mécaniquement ou chimiquement. Un autre avantage est que le métal de base n'est pas altéré ni sa surface endommagée⁵.

Au Musée National Suisse la recherche en cours et les développements futurs (installation d'un spectromètre optique) de la réduction plasma par de l'hydrogène basse pression pour la conservation-restauration des métaux contribue à une meilleure compréhension des processus se déroulant durant le traitement et doit permettre d'optimiser les paramètres de traitement utilisés.

Contact: Katharina Schmidt-Ott (MNS, CC)

Financement: financement interne

2. Schmidt-Ott, K., *Applications of low pressure plasma treatment at the Swiss National Museum and assessment of the results*, Zeitschrift für Schweizerische Archäologie und Kunstgeschichte, 54(1), 1997, 45-50

3. Schmidt-Ott, K. & Boissonnas, V., *Low-pressure hydrogen plasma: an assessment of its application on archaeological iron*, Studies in Conservation, 47, 2002, 81-87

4. Perkik, D., *The influence of low-pressure hydrogen plasma on changes in metallographic structure of iron objects*, paper presented at ICOM-CC Metal WG Congress 2001, Santiago/Chile, publication forthcoming

5. Schmidt-Ott, K., *Plasmareduktion von Silberoberflächen*, paper presented at *Exposure 2001* (International Conference on the Corrosion, Conservation & Study of Historic Metals in Situ, on Display & in Storage), Hildesheim/Germany, 7th-10th November 2001, publication forthcoming

Projets de recherche en cours



Etude technologique d'un reliquaire roman (AMBA / FHA / IMUW)

Le sujet de ce projet présenté dans BROMECS et mené dans le cadre d'un mémoire de fin d'étude de l'AMBA était l'examen technologique et la documentation du reliquaire roman Vitus provenant de Willebadessen, autrefois monastère bénédictin de Westphalie (Allemagne), se trouvant à côté du monastère de Helmarshausen, le lieu de travail de Théophile, l'orfèvre le plus célèbre du Moyen-Âge.

Comme le reliquaire est constitué d'un grand nombre de matériaux différents comme du bois de chêne, des plaques d'argent dorées ou niellées tout comme des plaques de cuivre émaillées, une connaissance approfondie des méthodes de travail d'un orfèvre médiéval influencé par l'école de Théophile a pu être obtenue.

Le travail interdisciplinaire des conservateurs-restaurateurs, des chercheurs et des historiens d'art s'est concentré sur des questions de datation, de provenance et d'authenticité du reliquaire. Des techniques d'analyses variées telles que la radiographie X, la microsonde électronique (au sein de l'IMUW), la SAA, la SEO, la CG-MS et la dendrochronologie ont été utilisées afin d'apporter des réponses à ces diverses questions tout comme aux circonstances de la production. Ces points ont ensuite été discutés compte tenu de la littérature technique du Moyen-Âge (c'est-à-dire les traités de Theophe, Heraclius or Mappae Clavicula).

On a ainsi pu définir, tout au long de la durée de l'utilisation liturgique du reliquaire, trois états qui se différencient distinctement l'un de l'autre.

L'examen du reliquaire à l'aide de méthodes non destructives (tomographie au sein de FHA) a permis de situer sa provenance et de proposer une datation. La datation précédemment établie suite à un examen historique a pu être confirmée. L'étude radiographique a révélé de nouveaux aspects de la fabrication et de l'utilisation (comme un ancien orifice d'accès). De plus on a pu montrer, du fait de leur forte teneur en bore et de leur insertion à l'aide de Borax (seulement utilisé à partir du 17^{ème} siècle), que les émaux sont des additions tardives.

Contact: Heiner Grieb (AMBA)

Financement: financement interne

Projets de recherche en cours



Corrosion du cuivre, de ses alliages et de minerais de cuivre due au soufre et aux composés de soufre réduit (AMBA / IPCPB / IMPUB)

Les « points noirs », un phénomène de corrosion observé pour la première fois sur des bronzes archéologiques, sont le sujet de ce travail mené dans le cadre d'un mémoire de fin d'étude au sein de l'AMBA (projet de recherche présenté dans BROMECS1). Ce type de corrosion du cuivre peut être causé par la présence dans l'atmosphère de soufre élémentaire ou de vapeurs de soufre réduit, comme celles de sulfure d'hydrogène ou de sulfure de carbone. Les excroissances localisées et leur aspect moutonneux sont les principales caractéristiques de cette forme de corrosion. Jusqu'à maintenant les points noirs ont été identifiés comme des sulfures de cuivre de structure cristalline ou dans de rares cas de structure amorphe.

Lors de nos expériences en laboratoire un certain nombre d'alliages de cuivre et d'étain contenant de faibles quantités de cuivre ont été exposés à différentes concentrations de soufre et de sulfure d'hydrogène afin d'en savoir plus sur les mécanismes de corrosion. Les produits de corrosion formés ont ensuite été observés au MEB et analysés en FRX et DRX. Les propriétés protectrices de différents revêtements d'alliages de cuivre ont également été testés. Des enquêtes ont été conduites dans des musées et des collections de minéraux en Allemagne et au Royaume Uni. Les sources potentielles de soufre au sein des musées ont été étudiées en incluant les matériaux utilisés pour la conservation et le stockage des pièces.

Certains matériaux largement utilisés dans les musées sont potentiellement dangereux pour les pièces en alliages cuivreux et en argent tels la plastiline et le caoutchouc vulcanisé. Pour de nombreux bronzes archéologiques il est évident que les défauts causés par des sollicitations mécaniques et thermiques sur la structure métallique ont pu provoquer la croissance de points noirs. De plus on a pu montrer que la corrosion sous forme unique de sulfure de cuivre peut se produire sur des alliages d'étain contenant des teneurs en cuivre aussi faibles que 1% (pewter).

Les analyses ont montré que les produits de corrosion consistent souvent en mélanges complexes de différentes phases. De nombreux échantillons prélevés sur des objets en bronze n'ont pas pu être identifiés par DRX. Certains échantillons contenaient en dehors des sulfures de cuivre des sulfates de cuivre ainsi que des composés non identifiés ce qui nous a conduit à supposer que dans ces cas une oxydation partielle des sulfures en sulfates s'était produite. Il est possible que ces phases non encore identifiées soient des sulfures oxydés ; elles sont soit amorphes ou leur structure cristalline est toujours inconnue.

Afin de caractériser complètement ces produits de corrosion, de nouveaux travaux de recherche tout comme l'utilisation de méthodes d'analyse complémentaires s'avèrent nécessaires. En tout état de cause, la définition des points noirs comme des sulfures de cuivre doit être revue.

Ce travail a été conduit en collaboration avec l'IPCPB, le Mary Rose Trust (Royaume Uni), et l'IMPUB (Allemagne).

Contact: Maja Weichert (AMBA)

Financement: financement interne

Projets de recherche en cours



Problèmes de conservation autour du cuirassé de la guerre civile USS *Monitor* (MM)

Le cuirassé USS *Monitor* de la guerre civile américaine a sombré la veille du 1^{er} de l'an 1862 après avoir connu la gloire en détruisant le cuirassé de la confédération USS *Virginia* lors de la première bataille des cuirassés, bataille qui marqua la fin des espoirs des confédérés de rompre le blocus maritime de l'Union, espoir également représenté par le sous-marin H.L. *Hunley* en cours de restauration à Charleston, Caroline du Sud (voir BROMECS4).

Depuis 1998 où l'hélice du cuirassé fut apporté au Mariners' Museum, Newport News Virginia, des opérations de renflouement d'éléments du *Monitor* sont conduites chaque été. On a pu ainsi remonter avec succès le bouclier de protection de l'hélice du *Monitor*, tout comme l'arbre d'hélice et la presse étoupe ou encore le moteur et la tuyauterie de la chambre des machines, le condensateur et sa tourelle de 200 tonnes. De nombreux autres objets en métal, bois, verre, textile et quelques pièces de papier ont pu être récupérés. On prévoit que d'autres pièces seront remontées dans les prochaines années du fait de l'exploration actuelle du quartier des officiers.

Du point de vue des priorités de conservation-restauration, celles-ci ont jusqu'à maintenant été orientées vers le stockage de 250 tonnes de métal, principalement du fer forgé et de la fonte de fer, la protection contre la corrosion des éléments du navire et la conservation des petits objets fragiles et des matériaux organiques. En raison du très grand nombre d'objets considérés, de leur complexité et de la forte proportion de surfaces occluses surtout au niveau de la tourelle, nous envisageons de démonter une grande partie d'entre eux afin d'assurer leur conservation. Comme la tourelle a à elle seule une surface 1200 mètres carrés imprégnés de chlorures il apparaît quasiment impossible de stabiliser complètement celle-ci. Un plan de conservation détaillé du *Monitor* a été rédigé et est en cours de révision. Ce plan n'est pas un document figé et il est prévu à l'avenir de le réactualiser lorsque de nouveaux éléments seront remontés de l'épave et que les matériaux seront examinés.

Le musée possède des dessins d'époque de beaucoup des éléments du navire et nos archivistes recherchent actuellement des dessins et des documents relatifs à une meilleure compréhension du navire, de ses éléments, de sa construction et de son utilisation. Des différences entre les plans originaux et le *Monitor* tel qu'il se présente actuellement sont déjà apparentes et de nouvelles découvertes seront certainement mises au jour en même temps que l'opération de restauration progresse.

Les perspectives futures sont:

- de continuer à éliminer les gangues formées à l'intérieur de la tourelle
- de mettre en place une technique de dépose progressive des plaques de la tourelle et une stratégie de remplacement de celles-ci
- de caractériser les faciès de corrosion ainsi que le taux de chlorures au sein des matériaux ferreux
- de développer des systèmes de contrôle pour la réduction électrolytique

On prévoit de mettre en place une recherche sur ce matériel lorsque nous aurons résolu les problèmes les plus urgents et que les moyens de conservation au sein du Mariners' Museum auront été adaptés du traitement de matériaux organiques et fragiles à celui d'objets métalliques de grandes dimensions.

Contact: Curtiss E. Peterson (MM)

Fincancement : Mariners' Museum

Nouveaux projets de recherche



COLLAPSE – Corrosion du plomb et des alliages plomb-étain des tuyaux d’orgues en Europe (CAOG / ELKSJ / M&S / UTC-DCIE / AMS-UB-UCISCRM)

Le patrimoine européen des orgues est préservé au sein de nombreux instruments historiques. Ce patrimoine est fortement menacé en raison de la corrosion atmosphérique subie par les tuyaux en plomb ou en alliage plomb-étain à l’intérieur des édifices. Le problème s’est accentué et lorsque les tuyaux sont endommagés il n’y a pas d’autres moyens que de remplacer les tuyaux historiques par des éléments modernes – avec la conséquence qu’une partie de la sonorité est à jamais perdue.

Il n’y a actuellement aucune méthode efficace pour empêcher la corrosion des tuyaux d’orgue ni pour sauver les instruments qui ont été détériorés. Il n’y a pas non plus de consensus quant aux raisons pour lesquelles la corrosion se développe plus rapidement.

Les objectifs de COLLAPSE sont de définir des méthodes et des matériaux adaptés tout comme de mettre en place des stratégies de conservation destinées à combattre la corrosion des tuyaux d’orgues en plomb et en alliage plomb-étain. Ce projet de 3 ans a démarré en janvier 2003. Il est coordonné par le Centre de l’Art des Orgues de Goeteborg (CAOG) de l’université de Goeteborg (Suède) et est financé par la Commission Européenne sous le 5^{ème} Programme Cadre.

Cette recherche devrait couvrir les 3 domaines suivant :

1. l’identification des facteurs responsables de la corrosion atmosphérique intérieure des tuyaux d’orgues en alliage plomb-étain au travers d’études de cas et d’expériences de laboratoire afin de rendre l’environnement plus sain
2. la mise au point de méthodes de nettoyage, de protection et de conservation de tuyaux déjà corrodés afin de limiter toute altération future
3. l’application des stratégies de conservation et des produits recommandés sur la tuyauterie très altérée de l’orgue historique de Stellwagen (église St Jacob, Lübeck)

Un guide européen du traitement de la corrosion décrivant les méthodes, les produits et les matériaux recommandés pour la prévention de la corrosion du plomb et des alliages plomb-étain, le traitement et la conservation-restauration des tuyaux d’orgues corrodés sera finalement rédigé.

Bien que ce projet ait été initié par des spécialistes des pays suivant : Suède, Allemagne, Danemark et Italie, toute compétence ou expérience particulières dans ce domaine de membres du groupe de travail Métal seront les bienvenues.

Contact : Carl Johan Bergsten (CAOG)

Financement: Commission Européenne (action clef "Mise au point de stratégies de conservation innovantes" au sein du programme Energie, Environnement et Développement durable)

Nouveaux projets de recherche

Fragilisation de l'argent par le plomb sur des objets archéologiques (DCF,DSM- LNA / OSTD)

Des études fondamentales vont être mises en place pour comprendre le(s) mécanisme(s) par le(s)quel(s) l'argent est fragilisé par le plomb dans des objets archéologiques du fait de son vieillissement sur le long terme. Cette recherche sera menée au Département des Sciences des Matériaux de l'Université Monash (Melbourne, Australie) à partir des recherches réalisées au Département des Charges et de Fatigue – Division des Structures et des Matériaux – Laboratoire National de l'Aérospatial (DCF,DSM-LNA)⁶ d'Emmeloord (Pays-Bas).

Des alliages binaires artificiels Ag-Pb seront préparés afin de simuler le comportement des objets archéologiques. Ils seront vieillis (en dessous de 100-200°C) puis exposés à des déformations et des ruptures mécaniques. Les caractéristiques des fractures occasionnées seront ensuite étudiées.

On envisage de prolonger ce travail par l'étude d'alliages plus proches des matériaux archéologiques, à savoir les alliages Ag-Pb-Cu.

Ce travail devrait permettre d'avoir une meilleure connaissance sur la fragilisation des objets en argent d'origine archéologique et sur les éventuels remèdes pour l'éviter. De plus les résultats de ce projet de recherche seront utilisés afin d'appréhender la fragilisation due au vieillissement des alliages Al-Li utilisés en aéronautique.

Contacts: Russel J.H. Wanhill (DCF,DSM- LNA) & Stan P. Lynch (OSTD)

Financement: financement interne

6. Wanhill, R.J.H., Steijaert,J.P.H.M., Leenheer,R., Koens,J.F.W., *Damage assessment and preservation of an Egyptian silver vase (300-200 BC)*, *Archaeometry*, 40 (1998) 123-137.

Nouveaux projets de recherche

Recherche sur les possibilités de traitement des soudures à l'étain sur l'argent (*IPCPB, RM*)

Beaucoup d'objets en argent (sterling) qui ont été réparés avec de la soudure à l'étain (alliage étain-plomb) montrent, lors du vieillissement, des fractures au niveau du joint. La conservation-restauration de ces fractures peut inclure l'élimination chimique de la soudure à l'étain de la matrice en argent par: du chlorure de fer (III); de l'acide fluoborique et de du peroxyde d'hydrogène; de l'acide chlorhydrique; de l'acide acétique et du peroxyde d'hydrogène ou son élimination mécanique à chaud.

Cette recherche menée par Maickel van Bellegem (étudiant de l'IPCPB) dans le cadre de sa thèse de fin d'étude vise à répondre aux questions suivantes :

- quelles sont les modifications de la microstructure de l'argent lors de l'opération de soudure?
- quelle est l'étendue et la température de la diffusion de l'étain et du plomb dans l'argent (et vice versa)?
- est-il possible d'éliminer d'anciennes soudures à l'étain?
- quel est le traitement d'élimination de la soudure à l'étain le moins dommageable pour la matrice en argent?

Contacts: Bart Ankersmit (IPCPB) & Robert van Langh (Rijksmuseum)

Financement: IPCPB

Nouveaux projets de recherche

Recherche sur le nettoyage du fer oxydé par attaque acide sous protection cathodique (IPCPB / RM)

Le nettoyage de la corrosion du fer dans des zones difficilement accessibles ne peut être réalisé par des moyens mécaniques. L'utilisation d'acides permettant d'éliminer les couches de corrosion semble ici efficace. Cependant ces acides causent l'attaque du métal sous-jacent. La protection cathodique de ce dernier devrait permettre d'éviter ou de limiter cet effet secondaire.

Cette recherche menée par Ilonne de Groot (étudiante IPCPB) dans le cadre de sa thèse de fin d'étude vise à répondre aux questions suivantes:

- Parmi les paramètres suivants, lesquels sont importants?
 - type d'acide
 - le potentiel cathodique à appliquer
 - le temps de traitement
 - le potentiel cathodique à appliquer pendant le rinçage sous protection cathodique

- A quoi ressemble la surface?
 - avant et après le traitement
 - est-il possible de conserver la patine existante ?

Contacts: Bart Ankersmit (IPCPB) & Robert van Langh (Rijksmuseum)

Financement: IPCPB & RM

Nouveaux projets de recherche



Transformations produites lors du stockage à sec de fers archéologiques (TBM)

Afin de retarder la corrosion post fouille des ferreux archéologiques, leur stockage à sec est habituellement considéré. Ce projet vise à évaluer l'efficacité d'une telle approche ainsi que les moyens de la mettre en place.

Un certain nombre d'objets en fer provenant de fouilles récentes seront suivis au cours des processus de conservation et d'acclimatation. On contrôlera en particulier leur surface selon la méthode descriptive définie par Bertholon⁷, ainsi que sa minéralogie à l'aide des techniques Raman, de la microscopie FTIR, du MEB et de la DRX. La corrosivité relative des résidus du sol sera évaluée par des mesures de pH, de teneur en ions solubles et de conductivité et au travers de tests de corrosion accélérée de courte durée.

L'efficacité du Silicagel comme moyen de réduire les taux d'humidité relative dans différents contenants et systèmes d'emballage sera évaluée tout comme les vitesses d'échanges d'air de ces contenants.

Contacts: David Thickett (TBM)

Financement: TBM

7. Bertholon, R., Robbiola, L. & Lacoudre, N., *Corrosion du Rouleau de cuivre de Qumran et localisation de la surface originelle*, Proceedings of ICOM-CC Metal 1998, Ed. W. Mourrey et L. Robbiola, James & James, London, 1998, 125-135

Nouveaux projets de recherche



Comparaison entre la réduction galvanostatique et potentiostatique du plomb (TBM)

Ces deux techniques vont être appliquées sur des coupons en plomb corrodés artificiellement et sur des objets en plomb altérés suite à un stockage non approprié. Le degré de réduction tout comme la chimie et la morphologie de surface seront évalués. Le plomb réduit par polarisation galvanostatique sous courant à demi rectifié a une structure de surface différente de celle obtenue par polarisation sous courant totalement rectifié et l'électrolyte utilisé peut également jouer un rôle sur les structures obtenues. Si des différences dans les morphologies de surface apparaissent, la résistance à des environnements riches en vapeurs d'acide acétique sera évaluée. Des travaux précédents ont montré que les différences de résistance à la corrosion dans de telles conditions n'apparaissent pas si la concentration en acide acétique est de l'ordre de $1000\mu\text{gm}^{-3}$.

Contacts: David Thickett (TBM)

Financement: TBM

Nouveaux projets de recherche



Transformations post fouille du fer archéologique (BC, UL)

La conservation du fer archéologique apparaît comme un vrai challenge. Les informations fragiles retenues dans les structures métallurgiques résiduelles et les restes de matériaux organiques minéralisés sont particulièrement sensibles à toute réaction pouvant générer des transformations physiques lors de l'exposition à l'atmosphère de l'objet. La bibliographie en conservation-restauration présente différentes théories quant au mécanisme impliqué. Ce travail réalisé dans le cadre d'un PhD (mené par l'auteur) a pour objectif de mettre au point et de tester des théories mécanistiques visant à décrire ce phénomène et à appréhender le développement de traitements de conservation et de stratégies de conservation préventive adaptés.

Il est prévu de mettre au point par essais de corrosion accélérée un matériau standard devant simuler le fer archéologique. Les transformations subies par ce matériau lors de son exposition atmosphérique seront suivies à l'aide de techniques microchimiques et microélectrochimiques. Cette approche à partir d'un matériau de simulation bénéficiera des observations et des analyses réalisées sur des objets réels.

Contacts: David Thickett (TMB)

Financement: financement interne

Informations générales

- Sites web

Certains sites proposent des informations intéressantes sur la recherche appliquée dans le domaine de la conservation-restauration. Des études spécifiques sur les métaux peuvent être trouvées.

- **Laboratories on Science and Technology for the conservation of European Cultural Heritage**

<http://www.chm.unipg.it/LabS-TECH.html>

- **Cost Action G8: Non destructive analysis and testing of museum objects**

<http://srs.dl.ac.uk/arch/cost-g8>

- **Cost Action G7: Artwork conservation by laser**

Les deux adresses suivantes sont correctes : <http://domino.datacenter.ro/cost/index.html> et <http://alpha1.infim.ro/cost>

- Annonce de séminaires et de conférences

- **Design, préservation et entretien des métaux architecturaux du 20^{ème} siècle** (4-5 avril 2003, Cambridge, Massachusetts, USA). Pour plus d'informations s'adresser à Technology and Conservation, 76 Highland Avenue, Somerville MA 02143, USA (Tel: 617.623.4488, Fax: 617.623.2253)

- **1^{er} Congrès Latino-Américain sur la conservation-restauration du métal** (7-11 avril 2003, Musée d'Art Contemporain, Santiago du Chili) organisé par le département de conservation-restauration de la Faculté des Arts de l'Université du Chili. Pour plus d'informations s'adresser à Johanna Theile (jtheile@abello.dic.uchile.cl)

- **Séminaire sur les armes et les armures ethnographiques et composites** (14 avril 2003, Royal Armouries, Leeds, UK). Organisé par UKIC Section ethnographique. Pour plus d'informations s'adresser à Deborah Cane, The Conservation Centre, Liverpool (Deborah.cane@nmgm.org)

- **4^{ème} Congrès internationale sur « les sciences et les technologies pour la sauvegarde du patrimoine culturel dans le bassin Méditerranéen »** (28 avril – 3 mai 2003, Le Caire, Egypte). Pour plus d'information contacter cnrpfbc@tin.it

- **5^{ème} Congrès Mondial d'Archéologie (WAC5)** (21-26 Juin 2003, Université Catholique d'Amérique, Washington, USA). Pour plus d'informations consulter <http://www.american.edu/wac5>

- **Cours d'été sur la métallographie des métaux anciens** (7-11 juillet 2003, Haute Ecole d'Art Appliqué, La Chaux-de-Fonds, Suisse). Organisé par l'Université Occidentale Suisse de Sciences Appliquées. Enseignant: Dr. David A. Scott, nombre max. de participants: 14. Pour plus d'information contacter Valentin Boissonnas, enseignant sur la conservation des métaux, HES-SO, v.boissonnas@heaa-ne.ch

- **Conférence « Préservation des objets patrimoniaux »** (14-17 septembre 2003, Ottawa, Canada). Organisée par l'Association nationale des ingénieurs en corrosion (NACE) Northern Area Eastern. Date limite pour les résumés : 1^{er} mars 2003 et pour les articles complets: 1^{er} juin 2003. Pour plus d'informations s'adresser à Lyndsie Selwyn, CCI, Ottawa (lyndsie_selwyn@pch.gc.ca)

- **Archéoméallurgie en Europe** (24-26 septembre 2003, Milan Italy). Pour plus d'informations consulter <http://www.aimnet.it/archaeo.htm>

- Abréviations et sigles

AMBA: Académie Municipale des Beaux Arts (Stuttgart, Allemagne)

AMS-UB-UCISCRM: Alma Mater Studiorum - Université de Bologne, Unité de l'Institut des Sciences Chimiques, Radiochimiques et Métallurgiques (Italie)

BC, UL: Birkbeck College, University of London

CAOG: Centre de l'Art des Orgues de Göteborg (Suède)

C2RMF: Centre de Restauration et de Recherche des Musées de France (Paris, France)

CG-DM: Chromatographie gazeuse associée à une détection de masse

CNR-ISMAR-UOCMM: Conseil National de la Recherche – Institut des Sciences Marines – Unité Opérationnelle de Corrosion Métallique Marine (Gênes, Italie)

DCF,DSM-LNA: Département des Charges et de Fatigue – Division des Structures et des Matériaux – Laboratoire National de l'Aérospatial (Emmeloord, Pays-Bas)

DC-MND: Département de Conservation-restauration – Musée National du Danemark (Copenhague, Danemark)

DRX: Diffraction des Rayons X

ELKSJ: Ev. -Luth. Kirchengemeinde St. Jacob (Lübeck, Allemagne)

FHA: Fachhochschule Aalen, ARGE Metallguss (Aix la Chapelle, Allemagne)

FRX: Fluorescence des Rayons X

FTIR: Fourier Transform InfraRed

GC-MS: Gas Chromatography linked with Mass Detection

IAASRT: Institut Archéologique de l'Académie des Sciences de la République Tchèque (Prague)

IMUW : Institut de Minéralogie de l'Université de Würzburg (Allemagne)

IMPUB : Institut de Minéralogie et de Pétrologie de l'Université de Bonn (Allemagne)

IPCPB: Institut du Patrimoine Culturel des Pays-Bas (Amsterdam, Pays Bas)

M&S : Marcussen & Soen (Aabenraa, Danemark)

MEB: Microscope Electronique à Balayage

MM : Mariners' Museum

MNS, CC : Musée National Suisse, Centre de Conservation-restauration (Zürick, Suisse)

OSTD: Organisation des Sciences et des Technologies de Défense (Melbourne, Australie)

RM: Rijksmuseum

SAA: Spectroscopie d'Absorption Atomique

SEO: Spectroscopie d'Emission Optique

SHMR-MND: Section d'Histoire Médiévale et de la Renaissance – Musée National du Danemark (Copenhague, Danemark)

SPC : Société pour la Protection contre la Corrosion (Prague, République Tchèque)

UTC-DCIE : Université de Technologie Chalmers, Département de Chimie Inorganique de l'Environnement (Göteborg, Sweden)

- Contacts

Bart Ankersmit / IPCPB (☎ : +31.20.30.54.737 - bart.ankersmit@icn.nl)

Carl Johan Bergsten / CAOG (☎ : +46.31.773.52.04 - carl.johan.bergsten@musik.gu.se)

Heiner Grieb / AMBA (heiner.grieb@BLDAM.Brandenburg.de)

Paola Letardi / CNR-ISMAR-UOCMM (☎ : +39.01.06.47.54.34 - letardi@icmm.ge.cnr.it)

Stan P. Lynch / OSTD (stan.lynch@dsto.defence.gov.au)

Per Nielsen / SHMR-MND (pern@hum.ku.dk)
Curtiss E. Peterson / MM (☎ : 1.757.591.7729 - cpeterson@mariner.org)
Katharina Schmidt-Ott / MNS,CC (☎ : +41.01.218.68.30 - katharina.schmidt-ott@slm.admin.ch)
Alena Silhova / IAASRT (☎ : + 420.732.771.283 - silhova@arup.cas.cz)
David Thickett / TBM (☎ : +44.20.7323.8174 - dthickett@thebritishmuseum.ac.uk)
Robert Van Langh / Rijksmuseum (☎ : +31.20.67.47.233 - R.van.Langh@Rijksmuseum.nl)
Russel J.H. Wanhill / DCF,DSM-LNA (☎ : +31.52.72.48.294 - wanhill@nlr.nl)
Maja Weichert / AMBA (majaweichert@web.de)

- Correspondants nationaux

Afrique du Sud: Jaco Boshoff, Le Cap (jboshoff@iziko.org.za)
Allemagne: Gerhard Eggert, Stuttgart (gerhard.eggert@abk-stuttgart.de)
Argentine: Blanca Rosales, Villa Martelli (brosales@arnet.com.ar) & Miguel Crespo, Buenos Aires (cloclo@infovia.com.ar)
Australie: David Hallam, Canberra (d.hallam@nma.gov.au)
Belgique: Patrick Storme, Anvers (patrick.storme@skynet.be) & Gilberte Dewanckel, Bruxelles (gilberte.dewanckel@kikirpa.be)
Chili: Johanna Theile, Santiago du Chili (jtheile@abello.dic.uchile.cl)
Danemark: Karen Stemann Petersen, Copenhague (karen.stemann.petersen@natmus.dk)
Espagne: Emilio Cano, Madrid (ecano@cenim.csic.es)
Etats Unis: Paul Mardikian, Charleston (mardikian@hunley.org)
Fédération Russe: Andrey Chulin, St Petersburg (andrey_chulin@yahoo.com)
France: Jean-Bernard Memet, Nantes (arcantique.recherche@wanadoo.fr) & Régis Bertholon, Paris (bertholon7@aol.com)
Grèce: Vasilike Argyropoulos, Athènes (Bessie@teiath.gr)
Italie: Paola Letardi, Genève (letardi@icmm.ge.cnr.it)
Norvège: Birgit Wilster-Hansen, Oslo (b.w.hansen@ukm.uio.no)
Pays Bas: Bart Ankersmit, Amsterdam (bart.ankersmit@icn.nl)
Roumanie: Dorin Barbu, Sibiu (dorin.barbu@brukenthalmuseum.ro)
Royaume Uni: David Thickett, London (dthickett@thebritishmuseum.ac.uk)
Suède: Helena Strandberg, Göteborg (helena.s@hem.utfors.se)
Suisse: Valentin Boissonnas, La Chaux-de-Fonds (v.boissonnas@heaa-ne.ch)