

# Les techniques électrochimiques en conservation-restauration

Du transfert de compétence au développement de nouveaux procédés

Christian Degriigny

- Résumé** Si les techniques électrochimiques font partie de la panoplie des outils employés en conservation-restauration, elles ne sont que rarement mises en œuvre par les professionnels. Considérées comme agressives et d'approche difficile, on leur préfère les traitements mécaniques et chimiques. Pourtant, une bonne maîtrise des paramètres appliqués et la collaboration avec des experts du domaine sont l'assurance d'un traitement mené en toute sécurité. Après un bref historique sur l'utilisation de ces techniques, cet article présente les paramètres électrochimiques utiles aux professionnels de la conservation-restauration. Des cas d'école permettent d'illustrer les possibilités de ces techniques.
- Mots-clés** **Traitements électrochimiques, application en conservation-restauration, transfert de compétence, approche pluridisciplinaire.**
- Abstract** **Electrochemical techniques in conservation: from transfer of knowledge to the development of new processes**  
Although electrochemical techniques are typical tools used in the conservation field, they are only rarely employed by the conservators themselves. Considered as dangerous and difficult to handle, mechanical and chemical treatments are preferred. A good control of the parameters applied and the collaboration with experts in the field should assure that the treatment is carried out safely. After a brief historical background on the use of these techniques, this paper presents the key electrochemical parameters useful to conservation professionals. Case studies illustrate the possibilities of these techniques and references are given to the most innovative related works.
- Keywords** **Electrochemical treatments, application to the conservation field, knowledge transfer, multidisciplinary approach.**

Les techniques électrochimiques sont employées en conservation-restauration à la fois pour nettoyer, stabiliser (extraire des espèces agressives tels les chlorures) et protéger des objets métalliques. Si à l'origine elles étaient développées et appliquées par des chercheurs en conservation-restauration (chimistes pour la plupart), elles ont peu à peu fait partie de la panoplie des traitements utilisés par les conservateurs-restaurateurs. Des expériences malheureuses, l'absence de formation adéquate et de recherches appropriées dans le domaine ont fait que ces techniques ont été quelque peu délaissées au profit d'autres considérées comme moins dangereuses tels les traitements mécaniques ou chimiques. Aujourd'hui, les techniques électrochimiques sont bien mieux maîtrisées. L'objectif de cet article est de montrer comment elles sont utilisées par les professionnels de la conservation-restauration et de préciser les limites de leur utilisation.

## Rappel historique

L'un des premiers chercheurs à utiliser les techniques électrochimiques en conservation-restauration fut l'Allemand Friedrich Rathgen (1862-1942) qui à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle polarisait cathodiquement des bronzes archéologiques pour les stabiliser [1-2]. Quelques années plus tard, elles sont employées sur des objets similaires aux États-Unis par Fink et Eldridge [3]. Loin de les considérer comme des « recettes », ceux-ci ont vite mesuré l'importance et la

difficulté de bien maîtriser les concepts scientifiques à la base de ces procédés.

Au milieu du XX<sup>e</sup> siècle, c'est l'Anglais Plenderleith qui préconise les traitements électrochimiques non seulement sur des bronzes, mais également sur des ferreux [4]. Il préfère cependant le principe de l'anode sacrificielle complété par des traitements mécaniques aux polarisations menées par ses prédécesseurs. Il propose néanmoins des conditions de nettoyage et de stabilisation par voie électrolytique (grâce à une source de courant extérieur : batterie, alimentation stabilisée...) sur des ferreux (10 A/dm<sup>2</sup>) et des bronzes (2 A/dm<sup>2</sup>). C'est encore aux États-Unis que de nouveaux développements sont réalisés par Hamilton qui emploie l'électrochimie pour le traitement d'objets issus de fouilles sous-marines [5]. Cette approche est poursuivie par North en Australie, qui suggère de polariser les objets non plus à courant constant mais à tension constante pour les stabiliser [6]. Les valeurs retenues sont de 5 V pour le fer forgé et 3 V pour la fonte de fer.

Des progrès considérables ont été réalisés grâce aux travaux du laboratoire Valectra d'Électricité de France qui s'est spécialisé lui aussi dans le traitement d'objets issus de fouilles sous-marines entre 1985 et 1995 [7]. Contrairement aux approches précédentes, c'est le potentiel à appliquer au matériau à traiter qui est considéré comme le paramètre déterminant pour suivre les opérations de nettoyage ou de stabilisation. Cette approche est utilisée avec succès pour traiter certains des 2000 premiers objets retrouvés sur l'épave du Titanic. On profite aussi de l'occasion pour développer de

nouvelles techniques électrolytiques (pinceau électrolytique, électrophorèse – migration d'ions sous un champ électrique entre deux électrodes – de matériaux organiques) [7-8].

Depuis 1995, un autre laboratoire français (Arc'Antique) conduit de nombreuses recherches afin d'évaluer l'effet des techniques électrolytiques sur les objets traités pour mieux les optimiser [8]. Ainsi, les paramètres de traitement pour le nettoyage et la stabilisation d'objets base fer, cuivre, plomb et argent ont été réétudiés et les traitements appliqués sont maintenant considérés comme tout à fait sûrs [9]. De nouveaux développements sont en cours [10] et certains professionnels tentent d'optimiser les traitements existants pour les appliquer aux objets composites (métal/bois et textiles gorgés d'eau) [11]. Un domaine tout particulièrement prometteur est celui du suivi à distance de traitements électrolytiques, à proximité des lieux de découverte tels des sites d'épaves sous-marines, sous le contrôle d'experts travaillant directement à partir de leurs laboratoires [12].

On l'aura compris, le domaine d'application de ces techniques est très large. Si majoritairement on les utilise pour la conservation-restauration des objets métalliques, elles trouvent actuellement des débouchés au niveau de l'identification des matériaux [13] ou de la tenue des matériaux au cours de leur stockage ou de leur exposition post-traitement. C'est certainement dans ce dernier secteur que l'on trouve aujourd'hui les techniques les plus innovantes [14-15]. En dépit des possibilités offertes par les procédés électrochimiques, rares sont les professionnels qui en font un usage courant. C'est pourquoi on multiplie actuellement les formations, à la fois dans le cadre de cycles universitaires (en s'adressant aux nouvelles générations de conservateurs-restaurateurs) et dans celui de formations continues destinées aux professionnels déjà établis et qui souhaitent élargir leur domaine de compétence.

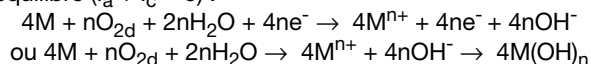
## Paramètres nécessaires à la bonne compréhension des réactions électrochimiques

La plupart des conservateurs-restaurateurs traitant des objets métalliques ont reçu quelques bases en électrochimie au cours de leur formation (équations de Nernst, diagrammes de Pourbaix...). Mais ces connaissances sont rarement exploitées par la suite et si certains professionnels emploient des techniques électrochimiques, il s'agit souvent de « recettes » appliquées de manière systématique et non de traitements parfaitement maîtrisés.

S'il y a un paramètre que chaque conservateur-restaurateur devrait savoir utiliser, c'est le potentiel de corrosion  $E_{\text{corr}}$  (ou potentiel d'abandon) pris par le métal lorsqu'il est immergé dans une solution. En raison de défauts de surface (inclusions, phases diverses, porosité...), le métal présente localement des charges différentes qui vont permettre la mise en place de processus électrochimiques. Il s'agit de réactions d'oxydation et de réduction qui se développent aux sites anodiques et cathodiques comme :

- la dissolution du métal (*oxydation*) :  
 $(x) M \rightarrow M^{n+} + ne^-$ , provoquant un courant anodique  $I_a$  ;
- la *réduction* de l'oxygène dissous ( $O_{2d}$ ) en milieu aqueux :  
 $(x) n) O_{2d} + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$ ,  
 provoquant un courant cathodique  $I_c$ .

En combinant ces deux demi-réactions, on trouve à l'équilibre ( $I_a + I_c = 0$ ) :



$E_{\text{corr}}$  est justement le potentiel du métal à l'équilibre. Il représente ainsi l'ensemble des demi-réactions qui se développent à la surface du métal lors de son immersion (sans source de courant extérieur) ou lorsqu'il est mis en contact avec un milieu aqueux. Comme les objets métalliques requérant un traitement sont souvent stockés en milieu aqueux (objets provenant de fouilles sous-marines ou subaquatiques) ou stabilisés par immersion, on comprend que la mesure de ce potentiel soit essentielle.

$E_{\text{corr}}$  ne peut être mesuré que par rapport à une électrode de référence (ER), les deux points de contact (le métal et ER) étant reliés à un voltmètre. Plusieurs ER sont disponibles, aussi doit-on prendre soin de toujours indiquer par rapport à quelle référence le potentiel est mesuré. Habituellement, les potentiels sont donnés par rapport à l'électrode standard à hydrogène (ESH = 0 V). Lorsque l'objet métallique ne peut être immergé,  $E_{\text{corr}}$  peut être mesuré localement (toujours au moyen d'une ER) en déposant une goutte de solution sur une zone appropriée.

Si la valeur d' $E_{\text{corr}}$  donne une idée de la nature du matériau considéré, ce n'est pas la valeur exacte de ce paramètre qui prime mais la manière dont il est influencé par des facteurs environnementaux ou liés au matériau lui-même. Ainsi, la corrosion ou la passivation (formation d'un film protecteur) du métal dans une solution donnée apparaît clairement au travers des tracés  $E_{\text{corr}} = f(\text{temps})$ . Si le potentiel croît, le métal se passive ; s'il décroît, le métal se corrodé. De toute évidence, ces phénomènes dépendront du volume de solution en contact avec la surface métallique, de la présence ou non d'une couche de corrosion à la surface du métal et des espèces ioniques en solution. D'autres facteurs comme la température, l'agitation et la conductivité de la solution ont un effet moindre.

Le pH de la solution ou du milieu dans lequel le métal se trouve joue un rôle primordial quant à sa tenue sur le long terme. Pourbaix a étudié cette influence au travers de la construction de diagrammes potentiels (donnés par rapport à ESH)/pH dits « de Pourbaix ». Ces diagrammes théoriques (car construits à partir de données thermodynamiques) et établis dans certaines conditions (éléments purs, eau pure,  $T = 25^\circ\text{C}$  et  $P = 1 \text{ atm}$ ) [16] permettent de construire des zones de stabilité thermodynamique des différentes formes métalliques (métal, oxyde, ions en solution) (*figure 1*).

Non seulement ces diagrammes sont utilisés pour comprendre le comportement des métaux dans différents environnements, mais les professionnels s'y réfèrent pour prédire les réactions de ces mêmes matériaux lorsque leur potentiel est modifié artificiellement (grâce à une source de courant extérieur) afin de provoquer certaines réactions électrochimiques. Dans la pratique, on choisit des solutions de traitement ayant un pH assurant la passivation du métal considéré. Ainsi dans le cas des ferreux, les conditions de passivation (formation de  $Fe(OH)_2$  ou  $Fe(OH)_3$ ) sont obtenues en solution alcaline (*figure 1*).

Les objets anciens n'étant jamais purs, des diagrammes potentiels/pH pour certains alliages sont aujourd'hui disponibles et permettent de mieux appréhender le comportement d'objets réels [17].

## Modification du potentiel des matériaux métalliques par polarisation

La cinétique des réactions électrochimiques n'est pas considérée dans les diagrammes de Pourbaix. Des réactions devant se produire à certains potentiels sont si lentes que

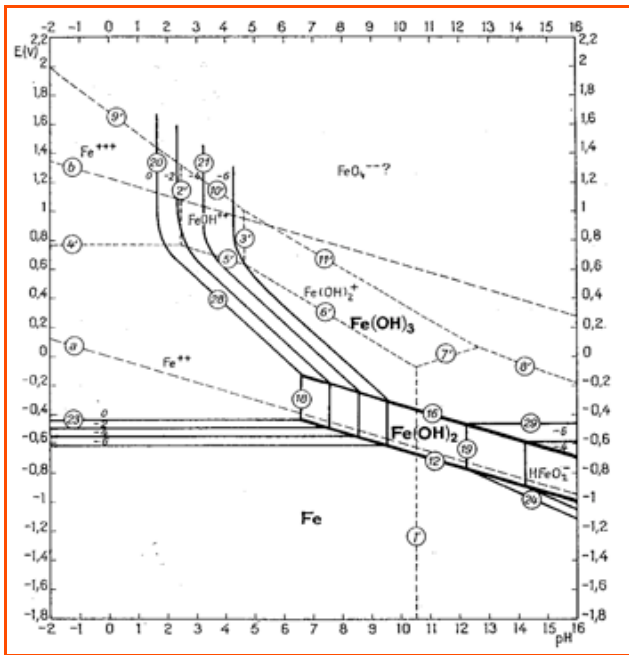


Figure 1 - Diagramme de Pourbaix du fer en conditions standards [16].

rien n'apparaît à l'œil nu. Afin d'avoir une meilleure idée sur les cinétiques des réactions électrochimiques, il est nécessaire de tracer des courbes voltamétriques  $I = f(E)$ . Pour cela, on balaye le potentiel du matériau étudié d' $E_{\text{corr}}$  au potentiel cathodique ou anodique choisi par l'opérateur.

Le potentiostat est un appareillage conçu pour ce type de tracé. Il s'agit en fait d'un générateur de courant sophistiqué à trois sorties, connectées à la cellule électrochimique, piloté par un ordinateur. Les trois électrodes sont le matériau considéré (électrode de travail, ET), la contre-électrode (CE, habituellement une grille de platine – matériau inaltérable) et l'électrode de référence (ER).

Avant d'étudier le comportement électrolytique d'un métal dans une solution spécifique, il est important de vérifier au préalable que celle-ci est électrochimiquement inactive. L'étape suivante est la détermination des potentiels de réaction que l'on souhaite provoquer artificiellement. On utilise pour cela des coupons métalliques (obtenus artificiellement) présentant des altérations identiques à celles des matériaux réels. Comme en conservation-restauration, on est habituellement intéressé par la polarisation cathodique des matériaux (nettoyage par bullage d'hydrogène, réduction des produits de corrosion dits « actifs »), les réactions cathodiques provoquées sur la surface du métal lors du balayage en potentiel ont été représentées sur la figure 2. À partir d' $E_{\text{corr}}$  se développe la réduction de l'oxygène dissous, suivie par la réduction des divers produits de corrosion recouvrant le métal. Ces réactions apparaissent habituellement avant la décomposition de la solution aqueuse par bullage d'hydrogène. Dans le cas où des réactions anodiques doivent être étudiées, un nouveau coupon est considéré et la même méthodologie que ci-dessus est appliquée. Cette fois-ci, des réactions d'oxydation sont provoquées par polarisation anodique (toujours à partir d' $E_{\text{corr}}$ ): d'abord celle du métal avant la décomposition de la solution aqueuse par bullage d'oxygène.

Dans la pratique, les conservateurs-restaurateurs n'utilisent pas des potentiostats – qui sont de coûteux équipements de recherche – pour polariser les objets, mais

plus communément des générateurs de courant (avec deux sorties + et -). Les potentiels adéquats (tirés de la littérature spécialisée [18-21]) sont appliqués par rapport à une électrode de référence. Les potentiels de travail correspondent habituellement au maximum des pics de réduction et d'oxydation ( $E_m$ , voir figure 2). Le platine n'est jamais utilisé comme contre-électrode (anode) quand on traite des objets cathodiquement. Une autre électrode moins coûteuse doit être considérée : un acier inoxydable pour les ferreux en solution KOH et pour les cuivreux en solution de sesquicarbonate de sodium (sel mixte équimolaire de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  et de  $\text{NaHCO}_3$ ) et des plaques de plomb pour les plombs en solution neutre de sulfate de sodium.

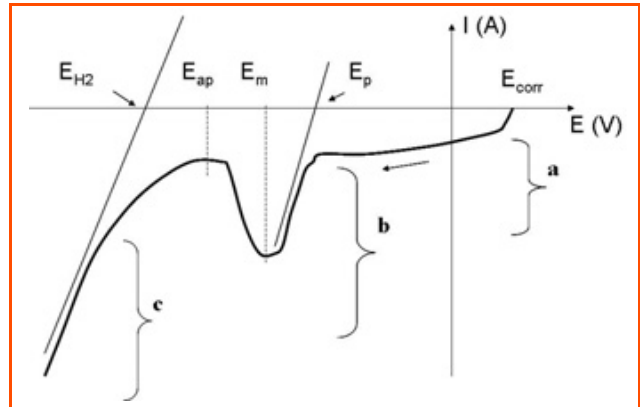


Figure 2 - Tracé cathodique  $I = f(E)$  sur le métal considéré à partir de  $E_{\text{corr}}$ .

**a** : réduction de l'oxygène dissous en solution aqueuse :  $\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$  ; **b** : réduction d'une couche de corrosion sur la surface du métal :  $\text{M}^{n+} + \text{ne}^- \rightarrow \text{M}$  ; **c** : décomposition du milieu aqueux (eau) en hydrogène :  $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ .

$E_p$  est le potentiel correspondant au démarrage de la réduction de la couche de corrosion (intersection avec la tangente du pic). Pratiquement, on travaille à  $E_m$  pour réduire le produit de corrosion ou éventuellement à  $E_{\text{ap}}$ .

## Applications

Dans la suite, nous présentons quelques cas d'école couramment rencontrés par les professionnels formés aux techniques électrochimiques et complétés par quelques travaux plus innovants.

### Nettoyage électrolytique d'objets historiques en argent terni

Les objets base argent se ternissent lorsqu'ils sont exposés à des atmosphères soufrées ou à des milieux chlorurés (telle la sueur humaine). Un certain nombre de techniques (mécaniques, chimiques et électrolytiques) permettent de nettoyer la surface métallique. De toutes, la polarisation cathodique est certainement la moins agressive. Les potentiels requis pour réduire la couche de sulfure ou de chlorure d'argent en argent ont été déterminés en solution de sesquicarbonate de sodium [21] et en milieu neutre tamponné de nitrate de sodium ( $\text{NaNO}_3$ ) [22]. Cette dernière solution est utilisée pour le traitement de pièces ternies en argent doré (figure 3). Celles-ci requièrent une polarisation anodique à la suite de l'étape cathodique [22].

### Conservation-restauration des ferreux issus de fouilles sous-marines

Les objets base fer sont souvent recouverts d'épaisse concrétions marines. Après récupération sur un site de fouille,



Figure 3 - Montage pour le traitement électrolytique d'une plaque d'argent doré ternie de la châsse des Enfants de Saint Sigismond de l'abbaye de Saint-Maurice [22].

les pièces ganguées sont immergées dans de l'eau de ville, mais si les concrétions ont été éliminées accidentellement, elles doivent être stockées en solution alcaline afin d'éviter tout développement de nouvelles formes de corrosion (figure 1). Des solutions diluées de KOH ou NaOH (1 % (w/v)) sont normalement utilisées en raison de leur fort pouvoir mouillant et de la facilité à neutraliser le bain lors du rinçage. Des changements réguliers de solution sont nécessaires du fait de l'extraction des espèces chlorurées qui peuvent occasionner des corrosions parallèles en se concentrant. Des tracés  $E_{\text{corr}} = f(\text{temps})$  permettent de suivre le comportement des matériaux au cours de l'immersion. Les courbes montrent une première décroissance du potentiel de corrosion suivie, après un certain laps de temps, par une croissance continue (obtention de la passivation) (figure 4) [23]. La décroissance initiale correspond en fait à la phase de pénétration de la solution au travers de la couche de corrosion. Plus celle-ci est épaisse et plus cette décroissance se prolonge.

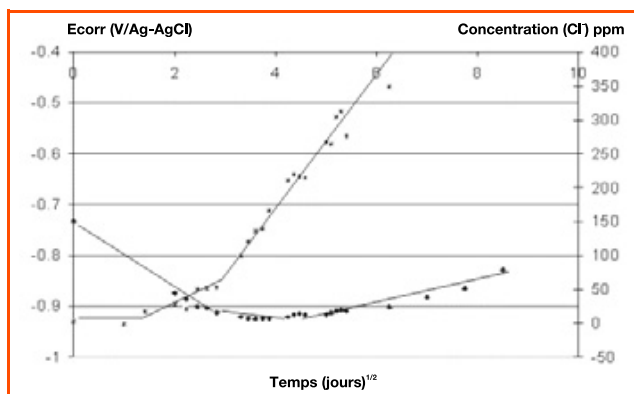


Figure 4 -  $E_{\text{corr}}$  (◆) et concentration en chlorures extraits (x) en fonction du temps d'immersion d'un pierrier en fer forgé en milieu NaOH (1 % (w/v)) [23].

Le dégagement des concrétions marines (figure 5a) par voie électrolytique se fait dans les mêmes solutions que celles du stockage en milieu alcalin, au potentiel de - 0,85 V/ESH [18]. L'objectif est de provoquer un bullage d'hydrogène suffisant pour favoriser la fissuration de la gangue sur l'ensemble de sa surface (figure 5b). Un mois est normalement suffisant pour obtenir un détachement total mais un bon nettoyage nécessite l'utilisation complémentaire de moyens mécaniques (marteau et burin, figure 5c). L'étape

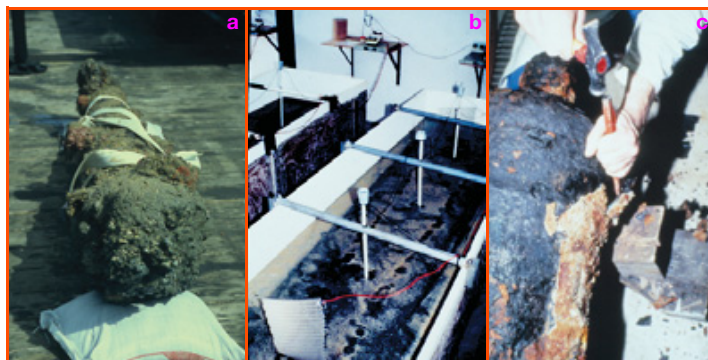


Figure 5 - Élimination des concrétions marines sur un canon en fonte de fer retrouvé dans le lagon de l'île de Mayotte. (crédits photos : Christian Degrigny, Arc'Antique).

suivante est la stabilisation menée par immersion [23] ou plus rapidement par polarisation cathodique (- 0,75 ou - 0,8 V/ESH) [18]. Cette étape peut durer plusieurs années (occasionnant plusieurs changements de bain) et malgré le faible potentiel appliqué, un dégagement d'hydrogène peut être provoqué localement (du fait que la distance entre la pièce traitée et l'anode environnante n'est pas la même partout). Afin d'éviter ce problème, on peut utiliser des courants pulsés [24].

### Stabilisation en milieu neutre des objets base plomb altérés en présence de vapeurs de composés organiques

L'altération de ces objets souvent conservés dans des armoires en bois ou des vitrines renfermant de fortes concentrations en composés organiques corrosifs (acides acétique et formique) est bien documentée [20]. La consolidation réductrice est l'un des traitements les plus sûrs pour ces objets. Un certain nombre d'électrolytes ont été testés, mais la solution neutre de sulfate de sodium est particulièrement adaptée au traitement d'objets base plomb combinés à des matériaux organiques (tels des sceaux toujours rattachés à l'aide de lacs en soie à des parchemins). Le potentiel cathodique appliqué en milieu  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  0,5 M est de - 0,65 V/ESH. La réduction des produits de corrosion en plomb métallique est contrôlée par chronoampérométrie (tracés  $I = f(\text{temps})$ ) et peut prendre quelques jours [20]. Une fois stabilisé, l'objet traité est très réactif et doit être protégé.

### Des développements particulièrement prometteurs

Les conséquences de l'application des procédés électrochimiques au niveau des matériaux ne sont pas toujours faciles à apprécier lors du stockage, de la stabilisation et de la protection des objets métalliques. C'est pourquoi on essaie actuellement de combiner la mesure des paramètres électrochimiques à l'analyse de la surface des matériaux et des couches de corrosion transformées au cours du traitement en utilisant les équipements les plus performants. La diffraction ou l'absorption des rayons X à partir de radiations synchrotrons sont actuellement testées sur des coupons métalliques base cuivre corrodés artificiellement au cours de leur immersion en solution de sesquicarbonate de sodium afin de suivre la transformation des couches de corrosion pendant la stabilisation d'objets

base cuivre « actifs » [25]. La cellule électrochimique réalisée à cet effet (eCell) est la même que celle utilisée pour l'étude de la protection des objets base plomb par immersion en solution de carboxylate de sodium [14]. Des techniques très proches sont également employées pour évaluer l'effet de la stabilisation électrolytique sur les couches de corrosion des ferreux archéologiques imprégnés de sels chlorurés [26].

## Conclusion

L'utilisation des techniques électrochimiques en conservation-restauration requiert quelques connaissances de base dans le domaine mais également une bonne collaboration entre l'utilisateur (en général un conservateur-restaurateur) et des chercheurs maîtrisant les procédés développés. Si certaines techniques peuvent facilement être prises en main par les conservateurs-restaurateurs (suivi de  $E_{corr}$  avec le temps), d'autres ne peuvent être mises au point ou appliquées que par les spécialistes du domaine. Il n'en reste pas moins qu'une approche pluridisciplinaire sur les problèmes de conservation-restauration rencontrés et la manière de les résoudre est nécessaire si l'on souhaite développer des traitements réellement adaptés à chaque objet.

## Références

- [1] Gilberg M., F. Rathgen: the father of modern archaeological conservation, *JAIC*, **1987**, 26(2), p. 105.
- [2] Rathgen F., *The preservation of antiquities*, Cambridge University Press, **1905**.
- [3] Fink C., Eldridge C.H., Efficient method for restoration of antique bronzes badly corroded or crusted over, Unpublished typescript, Walters Art Gallery, **1923**.
- [4] Plenderleith H.J., Werner A.E.A., *The Conservation of Antiquities and Works of Art*, 2<sup>nd</sup> ed., Oxford University Press, Londres, **1971**.
- [5] Hamilton D.L., Basic methods of conservation underwater archaeological material culture, *US. Legacy Resource Management Program*, US Department of Defense, Washington, D.C, **1996**. <http://nautarch.tamu.edu/class/anth605/File0.htm>
- [6] North N.A., Conservation of metals, *Conservation of marine archaeological objects*, C. Pearson (ed), Butterworths, Londres, **1987**, p. 207-252.
- [7] Montluçon J., Lacoudre N., *Les objets du Titanic – La mémoire des abîmes*, Hermé JFG, **1989**.
- [8] Lacoudre N., Degrygn C., Les traitements électrolytiques, *À la recherche du métal perdu. Les nouvelles technologies dans la restauration des métaux archéologiques*, H. Meyer-Roudet (ed), Errance, Paris, **1999**, p. 114-127.
- [9] Degrygn C., Du dégagement des canons par électrolyse à la consolidation-réductrice des plombs altérés (ou l'histoire de l'optimisation des techniques de restauration du métal par voie électrolytique), *Cahier Technique de l'Araafu*, **2001**, 7, p. 32.
- [10] Costa V., Electrochemistry as a conservation tool: an overview, *Conservation Science, Edinburgh, 22-26 May 2002*, J.H. Townsend, K. Eremin, A. Adriaens (eds), Archetype, Londres, **2002**, p. 88-95.
- [11] Degrygn C., Baron G., Christodoulou P., Tran K., Hiron X., Conservation of a collection of waterlogged composite rifles dating from the 17<sup>th</sup> century recovered from the Bescou II marine site, *Proceedings of the 8<sup>th</sup> ICOM-CC WOAM conference, Stockholm, 2001*, P. Hoffmann et al. (eds), Bremerhaven, **2002**, p. 399-411.
- [12] Guilminot E., Baron G., Memet J.-B., Huet N., Le Noc E., Roze J.-P., Electrolytic treatment of archaeological marine chloride impregnated iron objects by remote control, *METAL07, proceedings of the ICOM-CC Metal WG conference*, C. Degrygn, R. van Langh, B. Ankersmit, I. Joosten (eds), Rijksmuseum, Amsterdam, **2007**, vol. 3, p. 38-43.
- [13] Costa V., Balliama R., Leyssens K., Adriaens A., Identification of copper alloys constituting cultural artefacts using electrochemical techniques, *METAL07, proceedings of the ICOM-CC Metal WG conference*, C. Degrygn, R. van Langh, B. Ankersmit, I. Joosten (eds), Rijksmuseum, Amsterdam, **2007**, vol. 3, p. 26-31.
- [14] Dowsett M., Adriaens A., Schotte B., Jones G., Bouchenoire L., Real time spectroelectrochemical growth and corrosion resistance monitoring of lead carboxylate coatings in an environmental cell (eCell), *METAL07, proceedings of the ICOM-CC Metal WG conference*, C. Degrygn, R. van Langh, B. Ankersmit, I. Joosten (eds), Rijksmuseum, Amsterdam, **2007**, vol. 3, p. 22-25.
- [15] Letardi P., Luciano G., Survey of EIS measurements on copper and bronze patinas, *METAL07, proceedings of the ICOM-CC Metal WG conference*, C. Degrygn, R. van Langh, B. Ankersmit, I. Joosten (eds), Rijksmuseum, Amsterdam, **2007**, vol. 3, p. 44-50.
- [16] Pourbaix M., *Atlas d'équilibres électrochimiques à 25 °C*, Gauthier-Villars, Paris, **1963**.
- [17] Chase W.T., Notis M., Pelton D., New Eh-pH (Pourbaix) diagrams of the copper-tin system, *METAL07, proceedings of the ICOM-CC Metal WG conference*, C. Degrygn, R. van Langh, B. Ankersmit, I. Joosten (eds), Rijksmuseum, Amsterdam, **2007**, vol. 3, p. 15-21.
- [18] Degrygn C., Altération et conservation des objets métalliques issus de fouilles sous-marines - Part II, *Proceedings of the EU ANSER workshop, Innovative technologies and methodologies to study and conserve archaeological artefacts, Livorno, Italy, 31 May-5 June 2004*, **2005**.
- [19] Bertholon R., Bell B., Blengino J.-M., Lacoudre N., Stabilisation de la corrosion d'un objet archéologique en alliage cuivreux par électrolyse à faible polarisation dans le sesquicarbonate de sodium. Dernières expériences, *METAL95, proceedings of the ICOM-CC Metal WG interim meeting*, I. MacLeod, S. Pennec, L. Robbiola (eds), James & James, Londres, **1995**, p. 209-219.
- [20] Degrygn C., Le Gall R., Conservation of ancient lead artefacts corroded in organic acid environments: electrolytic stabilisation/consolidation, *Studies in Conservation*, **1999**, 44, p. 157.
- [21] Degrygn C., Jérôme M., Lacoudre N., Surface cleaning of silvered brass wind instruments belonging to the Sax collection, *Corrosion Australasia*, **1993**, 18(2), p. 16.
- [22] Degrygn C., Witschard D., La chasse des enfants de Saint Sigismond de l'Abbaye de Saint-Maurice : traitements électrochimiques des reliefs en argent en cours de restauration, *Medieval reliquary shrines and precious metalwork – Proceedings of a conference at the Musée d'Art et d'Histoire, 12-15 September 2001*, K. Anheuser, C. Werner (eds), Archetype, **2006**, p. 9-16.
- [23] Degrygn C., Spiteri L., Electrochemical monitoring of marine iron artefacts during their storage/stabilisation in alkaline solutions, *METAL04, proceedings ICOM-CC Metal WG interim meeting*, J. Ashton, D. Hallam (eds), National Museum of Australia, Canberra, **2004**, p. 315-331.
- [24] Dalard F., Gourbeyre Y., Degrygn C., Chloride removal from archaeological cast iron by pulsating current, *Studies in Conservation*, **2002**, 47, p. 117.
- [25] Adriaens A., Dowsett M., *In-situ* spectroelectrochemical studies of the removal of chlorides from copper, *METAL07, proceedings of the ICOM-CC Metal WG conference*, C. Degrygn, R. van Langh, B. Ankersmit, I. Joosten (eds), Rijksmuseum, Amsterdam, **2007**, vol. 3, p. 60-68.
- [26] Reguer S., Neff D., Remazeilles C., Guilminot E., Nicot F., Pelé C., Meguelati M., Mirambet F., Dillmann P., Refait P., Huet N., Mielcarek F., Rebière J., Bertrand L., Desalination of iron archaeological artefacts: understanding of chlorine removal mechanisms of the corrosion layers supported by characterization techniques, *METAL07, proceedings of the ICOM-CC Metal WG conference*, C. Degrygn, R. van Langh, B. Ankersmit, I. Joosten (eds), Rijksmuseum, Amsterdam, **2007**, vol. 2, p. 60-68.



### Christian Degrygn

a été de 2002 à 2008 le coordinateur du groupe Métal du Comité de Conservation du Conseil International des Musées (ICOM-CC). Il est enseignant-chercheur à la Haute École de Conservation-Restauration Arc (HECR Arc)\*.

\* HECR Arc, 60 rue de la Paix, 2301 La Chaux-de-Fonds, Suisse.  
Courriel : christian.degrygn@gmail.com

## Conférences du lauréat du Prix Catalan-Sabatier 2008

En mars 2009, à l'invitation de la Société Chimique de France, Miguel Julve Olcina (ICMol, Université de Valencia), lauréat du Prix Catalan-Sabatier 2008 de la SCF, présentera en France sa conférence intitulée :

« Chimie de coordination et magnétisme moléculaire, un couple heureux »

- 16 mars, à 11 h, à Paris (UPMC), contact : michel.verdaguier@upmc.fr, À l'issue de cette conférence, Olivier Homolle, président de la SCF, remettra le prix au lauréat - 17 mars à 14 h 15, à Angers, contact : narcis.avarvan@univ-angers.fr - 18 mars à 10 h 30, à Rennes, contact : lahcene.ouahab@univ-rennes1.fr - 19 mars à 16 h 30, à Strasbourg, contact : braunstein@chimie.u-strasbg.fr - 20 mars à 14 h 30, à Toulouse, contacts : Lydie.Valade@icc-toulouse.fr, guy.lavigne@icc-toulouse.fr