



**Les métaux dans la boîte : gel de silice et compagnie**

**Session de formation permanente organisée par le département des restaurateurs avec  
Christine Riquier-Bouclet, conservatrice-restauratrice de métaux, présidente d'In/Ex Situ**

**A distance, 17-21 avril 2023**

**Orientation bibliographique réalisée par la Bibliothèque de l'Inp et l'intervenante**

*Tous les documents ci-dessous peuvent être consultés à la Bibliothèque de l'INP, à l'exception de ceux précédés d'un astérisque.*

*Les mémoires des élèves restaurateurs et les bibliographies de l'Inp sont accessibles en ligne sur <https://mediatheque-numerique.inp.fr/>*

**Corrosion et conservation des métaux**

AMARGER Antoine, COSTA Virginia, LOEPER-ATTIA Marie-Anne et al., *Autour du métal : étude, conservation, restauration : actes du 3eme colloque de l'ARSET, Ecole des Beaux-Arts de Tours le 9 février 2010*, Tours, ARSET, 2010

AUDISIO S., « Cuivre et alliages cuivreux », In *Corrosion localisée*, Les Ulis, Les Editions de physique, 1994, p.585-604

AUDISIO Sylvain, MAZILLE H., RAMEAU J. J., « Les multiples facettes de la corrosion », *Instantanés techniques*, Mars 2000 - n° 17, p. 37-45

BERANGER Gérard (dir.), MAZILLE Henri, *Corrosion des métaux et alliages : mécanismes et phénomènes*, Paris, Hermès sciences publications, Lavoisier, 2002, 411 p.

BERTHOLON Régis, « Corrosion du cuivre et de ses alliages lors d'un traitement de désinfestation par fumigation à partir de phosphine », In *Actes de la 7e rencontre annuelle du groupe de travail ICOMcc-SFIIC, section métal, Draguignan, 23 avril 1993*, Laboratoire de conservation-restauration de Draguignan, Groupe ICOMcc-SFIIC, section métal, 1993, p. 1-13

BERTHOLON Régis, CREVAT Stéphane, *Approche de la conservation-restauration d'un objet métallique. Examen - Constat d'état - Diagnostic - Objectifs – Projet, Rapport*, Paris, IFROA, 1995, 29 p.

BITTER David, TEICHERT Steffen, « Brandpatina auf archäologischen Metallfunden \$b article \$e Entstehung, Identifizierung, Interpretation », *Beiträge zur Erhaltung von Kunst und Kulturgut*, 2022, n° 1, p. 30-37

BODU J.J., REBOUL M., SCHUSTER D., « Alliages d'aluminium », In *Corrosion localisée*, Les Ulis, Les Editions de physique, 1994, p. 552-584

CIHAL V., CABRILLAC C., « La corrosion intergranulaire : Cas spécifique des aciers inoxydables. Les méthodes d'essais », In *Corrosion localisée*, Les Ulis, Les Editions de physique, 1994, p. 483-498

LOEPER Marie-Anne, *Etude bibliographique des phénomènes de corrosion active des objets archéologiques en fer, définition du concept de corrosion active et caractérisation de ses symptômes*. DEA archéologie des périodes historiques, Histoire de l'art et archéologie, Université Paris I Panthéon Sorbonne, 2002, 107-22 p.

LOGAN Judy, SELWYN Lyndsie, *Comment reconnaître la corrosion active – Notes de l'Institut canadien de conservation (ICC) 9/1* [en ligne], Ottawa, Institut canadien de conservation, 2007 (1986) <https://www.canada.ca/fr/institut-conservation/services/publications-conservation-preservation/notes-institut-canadien-conservation/reconnaitre-corrosion-active.html> (consulté le 5 avril 2023)

DILLMANN Philippe, WATKINSON David, ANGELINI Emma, ADRIAENS Annemie, *Corrosion of metallic heritage artefacts: investigation, conservation and prediction of long term behaviour*, Cambridge - Philadelphia, Pa. – Oxford, Woodhead publishing ltd, 2013, XXVIII-611 p. (European federation of corrosion publications, Nr 65)

HOULLE P., « Alliages base nickel et base cobalt », In *Corrosion localisée*, Les Ulis, Les Editions de physique, 1994, p. 621-636

JAIN KAMAL K., NARAIN Shyam, *Iron artifacts history, metallurgy, corrosion and conservation*, Delhi, Agam Kala Prakashan, 2009, XXII-165 p.

MANTI Panagiota, WATKINSON David, « Corrosion phenomena and patina on archaeological low-tin wrought bronzes: New data, [Le phénomène de corrosion et la patine sur les bronzes forgés à faible teneur en étain-Nouvelles données] », *Journal of cultural heritage*, Mai-juin 2022, Vol. 55, p. 158-170

SCOTT David A., *Copper and Bronze in Art - corrosion, colorants, conservation*, The Getty Conservation Institute (ed), Paul Getty Trust, 2002, XVI-515 p.

SCOTT David A., EGGERT Gerhard, *Iron and steel in art: corrosion, colorants, conservation*, London, Archetype publications, 2009, XI-196 p.

SELWYN Lyndsie, *Metals and corrosion : a handbook for the conservation professional = Métaux et corrosion : un manuel pour le professionnel de la conservation*, Ottawa, Canadian Institute for Conservation - Institut canadien de conservation, 2004, 223 p. = 239 p.

VILLIERS-MORIAME Dominique de, DUBOIS Dominique, BARREAU Jonathan [et al.], « Le gros plan, le traitement de surface des métaux », *Fèvres*, octobre 2022, n° 70, p. 14-42

VOLFOVSKY Claude (dir.), *La conservation des métaux*, Paris, CNRS Editions, 2001, 296 p. (Conservation du patrimoine, n° 5)

## **Environnement et humidité relative**

Association française de normalisation (AFNOR), *Norme homologuée, NF EN 15757, Novembre 2010, Conservation des biens culturels - Spécifications applicables à la température et à l'humidité relative pour limiter les dommages mécaniques causés par le climat aux matériaux organiques hygroskopiques*, Saint-Denis, AFNOR, 2010, 13 p.

Association française de normalisation (AFNOR), *Norme homologuée, NF EN 16242, 8 juin 2013, Conservation des biens culturels - Modes opératoires et instruments de mesure de l'humidité de l'air et des échanges d'humidité entre l'air et les biens culturels*, Saint-Denis, AFNOR, 2015, vol. 2, p. 165-197

AGRAWAL O.P. (ed.), *Conservation of metals in humid climate. Proceedings of the Asian Regional seminar held from 7-12 Decembre, 1987, Luknow*, ICCROM, NRLC, Rome, 1989, 129 p.

ANKERSMIT Bart, STAPPERS Marc H.L., *Managing indoor climate risks in museums*, S.I., Springer, 2017, 333 p.

ASHLEY-SMITH Jonathan, BURMESTER Andreas EIBL Melanie (eds), *Climate for collections : standards and uncertainties. International conference held at the Pinakothek der Moderne in Munich, 7-9 November, 2012, on the occasion of the 75th anniversary of the Doerner Institut*, London, Archetype publications, Munich, Doerner Institut, 2013, 452 p.

COLE I.S., HOLGATE R., KAO P., « The rate of drying of moisture from a metal surface and its implication for time of wetness », *Corrosion Science*, Mars 1995, Vol.37, n°3, p. 455-465

GLAZNEV Ivan ALEKSEEV Vladimir SALNIKOVA Irina, et al., « ARTIC-1 : a new humidity buffer for showcases », *Studies in conservation*, 2009, Vol. 54 n° 3, p. 133-148

GRATTAN David, MICHALSKI Stefan, *Directives en matière d'environnement pour les musées : Température et humidité relative* [en ligne], Ottawa : Institut canadien de conservation (ICC), 2009 (mis à jour le 28/02/2018)

<https://www.canada.ca/fr/institut-conservation/services/conservation-preventive/directives-environnement-musees.html> (consulté le 5 avril 2023)

KARP Cary, « Calculating atmospheric humidity », *Studies in Conservation*, 1983, Vol. 28, n° 1, p. 24-28

MARTENS Marco, HENDRIKUS Jozef, *Climate risk assessment. Degradation risks determined from temperature and relative humidity data*, Th. Doctorat, Eindhoven, Technische universiteit Eindhoven, 2012, 214 p. (Bouwstenen, 161)

MICHALSKI Stefan, « Relative humidity : a discussion of correct/incorrect values », in *ICOM committee for conservation 10th triennial meeting, Washington, DC, USA 22-27 August 1993*, preprints vol. 2, p. 624-629

RHYL-SVENDSEN Morten, « Corrosivity measurements of indoor museum environments using lead coupons as dosimeters », *Journal of cultural heritage*, Vol. 9, n° 3, Juin-septembre 2008, p. 285-293

SCOTT David, « Bronze disease : a review of some chemical problems and the role of relative humidity », *AIC Journal of the American Institute for Conservation*, Automne 1990, Vol. 29, n° 2, p. 193-206

WANG Quanyu, « The effects of relative humidity on the corrosion of iron: an experimental view », *British Museum Technical Research Bulletin*, 2007, n° 1, p. 65-73

### **Micro-environnement et matériaux tampon**

ARENSTEIN PERKINS Rachael Perkins, *Demystifying Silica Gel for Effective Microclimates* [en ligne], Webinar January 22, 2019, Fondation for advancement in conservation, 1 h 28 mm.  
<https://www.connectingtocollections.org/effective-microclimates/> (consulté le 5 avril 2023)

BOCCIA PATERAKIS Alice, MARIANO M., « Oxygen absorbers and desiccants in the protection of archaeological iron, maintaining some control », in *Metal 2013, interim meeting of the ICOM-CC metal working group conference proceedings, [Edinburgh, 16th-20th September 2013]*, p. 185-191

BRET Jacqueline, JAUNARD Daniel, MANDRON Patrick, « L'impact du gel de silice sur l'humidité interne des caissons climatiques », *Techne*, 2003, n° 17, p. 95-96

CHALVIDAL Clémence, LOEPER-ATTIA Marie-Anne, ROBBIOLA Luc, « Effet des absorbeurs d'oxygène sur la conservation des alliages base cuivre archéologiques. Nouveau développement pour le stockage des objets en réserve », *ARAUFU Cahier technique*, n° 22, 2015, p. 49-54

COOK Clifford, *Préparation du gel de silice pour la conservation en contenant d'objets métalliques – Notes de l'Institut canadien de conservation (ICC) N9/14*, 2019 [en ligne],  
<https://www.canada.ca/fr/institut-conservation/services/publications-conservation-preservation/notes-institut-canadien-conservation/prep-gel-silice.html> (consulté le 5 avril 2023)

- GARDIN Pascale, « Agent déshydratant à base d'argile activée conditionnée en sachet », *Conservation restauration des biens culturels (CRBC)*, Octobre 1996, n° 8, p. 55-56
- HJERRILD SMEDEMARK Signe, RHYL-SVENDSEN Morten, TOFTUM Jorn, « Removal of organic acids from indoor air in museum storage rooms by active and passive sorption techniques », *Studies in Conservation*, 2020, Vol. 65, n°5, p. 251-261
- ISETTI Carlo, MAGRINI Anna, NANNEI Enrico, « The application of vapour-permeable synthetic membranes to the climatic stabilization of museum showcases », *Studies in Conservation*, 1996, Vol. 41, n° 4, p. 229-240
- KAMBA Nobuyuki, « Variations in relative humidity and temperature as measured in a packing case », in *ICOM Committee for Conservation, 9th Triennial meeting, Dresden, German Democratic Republic, 1990*. Los Angeles, CA, ICOM Committee for Conservation, 1990, vol. 1, p. 405-409
- KIELE Erika, LUKSENIENE Janina, GRIGUCEVICIENE Asta, SELSKIS Algirdas, et al., « Methyl-modified hybrid organic-inorganic coatings for the conservation of copper », *Journal of cultural heritage*, Vol. 15, n° 3, mai-juin 2014, p. 242-249
- KLEITZ Marie-Odile, « Le contrôle statique de l'humidité relative par les gels de silice ou comment choisir le gel de silice adapté au problème à traiter », *Conservation restauration des biens culturels (CRBC)*, 1998, n° 11, p. 71-75
- LAFONTAINE R.H., Institut canadien de conservation (ICC) = Canadian conservation institute (CCI), *Le Gel de silice = Silica gel*, [Périodique n° spécial], *Bulletin technique ICC*, 1984, 17 p.
- MATHIAS C., RAMSDALE K., NIXON D., « Saving archeological iron using the revolutionary preservation system », in *Metal 04, actes de la conférence internationale sur la conservation des métaux = proceedings of the international conference on metals conservation, Canberra (Australia), 4-8 October 2004*. Canberra, National museum of Australia press, 2004, p. 28-42
- PASCAUD Gilles, « Deux formes de gel de silice peu connues : GORE-TEX et ART.SORB », *Lettre de l'OCIM (La)*, Mai-Juin 1991, n° 15, p. 12-14
- STOLOW Nathan, « Silica gel and related RH buffering materials conditioning and regeneration techniques », in *Care of collections*, London – New York, Routledge, 1994 (Leicester readers in museum studies, Series editor Susan M. Pearce), p. 93-100
- TETREAUULT Jean, Institut canadien de conservation (ICC) = Canadian conservation institute (CCI), *Produits utilisés en conservation préventive* [en ligne], *Bulletin technique n° 32*, 2017  
<https://www.canada.ca/fr/institut-conservation/services/publications-conservation-preservation/bulletins-techniques/produits-utilises-conservation-preventive.html> (consulté le 5 avril 2023)
- TETREAUULT Jean, BEGIN Paul, Institut canadien de conservation (ICC) = Canadian conservation institute (CCI), *Gel de silice : contrôle passif de l'humidité relative* [en ligne], *Bulletin technique n° 33*, 2018  
<https://www.canada.ca/fr/institut-conservation/services/publications-conservation-preservation/bulletins-techniques/gel-silice-humidite-relative.html> (consulté le 5 avril 2023)
- THICKETT David, « Presentation in original contexts via microclimates », in SAUNDERS David, TOWNSEND Joyce H., WOODCOCK Sally (eds), *Conservation and access: contributions to the London Congress 15-19 september 2008*, London, IIC, 2008, p. 98-103
- THOMSON Garry, « Stabilization of RH in exhibition cases: hygrometric half-time », *Studies in conservation*, 1977, Vol. 22, n° 2, p. 85-102
- THUNBERG Johanna C., WATKINSON David, EMMERSON N., « Desiccated microclimates for heritage metals, creation and management », *Studies in Conservation*, 2021, Vol. 66, n°3, p. 127-153

*Using Silica Gel in Microenvironments* [en ligne] *Conserve O Gram 1/8*, Washington (D.C.), U.S. National Park Service, sept. 1999 <https://www.nps.gov/museum/publications/conserveogram/01-08.pdf> (consulté le 5 avril 2023)

WATKINSON David, LEWIS Mark T., « Desiccated storage of chloride-contaminated archaeological iron objects », *Studies in conservation*, 2005, Vol. 50 n° 4, p. 241-252

### Etudes de cas

BERNABALE Martina, NIGRO Lorenzo, MONTANARI, Daria, DE VITO Caterina, « Exploring the chemical composition and corrosion patterns of arrowheads used in the Siege of Motya (397 BC) through a multi-analytical approach », *Journal of cultural heritage*, novembre-décembre 2021, Vol. 52, p. 146-152

OUBBESHI Omid, SHEKOFTEH Atefeh, MAKHZANI Samira, SIAPOOSH Masoud, « Conservation of metal collection in Ebn-E Sina museum, Hamedam, Iran: from intervening to preventive approaches », in CAGNO Simone, MACCHIA Andrea, PRESTILEO Fernanda, KHALILLI Fariz (eds), *4th International Meeting YOCOCU 2014, Youth in Conservation of Cultural Heritage. Professionals' experiences in cultural heritage: Conservation in America, Europe, and Asia*, Cambridge, Cambridge Scholars Publishing, 2016, p. 189-201

PANNIKE Walter, « Korrosion auf Goldschmiedemodellen aus Blei und Zinn: die Folgen einer Sanierung historischer Bausubstanz », *Restauro* [allemand], Juillet-Août 2001, Vol. 107, n° 5, p. 384-388

WATKINSON David, TANNER Matthew, TURNER Robert, et al., « ss Great Britain: teamwork as a platform for innovative conservation », *Conservator (The)*, 2005, n° 29, p. 73-86

### Liens utiles

AMC Art Metal Conservation, Bâle, CH  
<http://www.artmetalconservation.com/html2/amc.html> (consulté le 5 avril 2023)

European Federation of Corrosion (EFC) : lettres d'information et congrès internationaux  
<https://efcweb.org/> (consulté le 5 avril 2023)

ICOM Committee for conservation, Metal working group : lettres d'information et conférences internationales sur la conservation-restauration du patrimoine métallique  
<https://www.icom-cc.org/en/working-groups/metals> (consulté le 5 avril 2023)

MiCorr : base de données pour l'étude et le diagnostic des phénomènes de corrosion des métaux réalisée par la Haute école Arc Neuchâtel, CH  
<https://micorr.org/> (consulté le 5 avril 2023)