

Résumé

Provenant de l'épave du Titanic, coulé par 4000 m de fond en 1912, de nombreux papiers ont été remontés lors de la fouille effectuée en 1993. Ils ont été confiés à LP3 Conservation afin d'être restaurés et conservés. Après un traitement de masse par lyophilisation, une partie de la collection a été traitée par un procédé chimique mis au point au Western Australian Maritime Museum et utilisé jusqu'alors pour le traitement des matériaux non organiques: la complexation des ions Fe^{3+} par le citrate d'ammonium. La sélection des objets à traiter, leur restauration ou non, puis leur stockage ont été établis en fonction de critères alliant les besoins d'exposition didactique, d'analyses, de recherches et le désir de conserver certains objets dans leur état d'origine comme témoins archéologiques.

Mots-clés

Papiers immergés, Titanic, lyophilisation, citrate d'ammonium, complexant, oxydes de fer

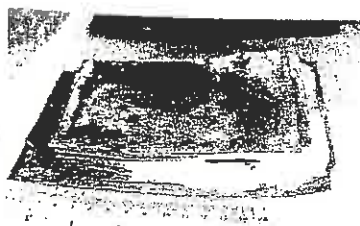


Figure 1. Liasse de papiers couverte de moisissures, à son arrivée à LP3 Conservation.

Une lieue sous la mer, le Titanic: traitement des papiers

Florence Herrenschmidt,* Marianne Moinot,
Stéphane Louis Pennec

LP3 Conservation
8 rue des Tanneries, 21140 Semur en Auxois, France

Ian MacLeod

Western Australian Maritime Museum
Cliff Street, WA 6160 Fremantle, Australie

Claire Chahine

Centre de Recherche sur la Conservation des Documents Graphiques
36 rue Geoffroy Saint-Hilaire, 75005 Paris, France



Présentation

Dans la nuit du 14 au 15 avril 1912, des milliers de tonnes d'acier disparaissent en quelques minutes entraînant hommes, femmes et enfants. Le plus luxueux paquebot de ce début de siècle, le Titanic, sombre dans les eaux de l'Atlantique Nord lors de sa traversée inaugurale. Son épave gît par 4000 m de fond dans une eau proche de 0°C, sans aucune lumière, subissant 400 fois la pression atmosphérique.^{1,2}

Découverte en 1985, l'épave du Titanic a fait jusqu'à présent l'objet de trois campagnes de fouilles (1987, 1993 et 1994). Ces campagnes sont placées sous la direction de la société RMS Titanic Inc., propriétaire des objets, qui a confié à IFRJEMER et à son sous-marin le Nautilus le difficile travail de réaliser cette exploration à une telle profondeur. Au total, aujourd'hui, près de 5000 objets ont été remontés à la surface. RMS Titanic est associé depuis 1990 à un laboratoire français pluridisciplinaire, LP3 Conservation, pour la prise en charge de l'intégralité de la conservation et du suivi des objets.

Notre propos est centré sur les papiers trouvés lors de la plongée de 1993 et parvenus en 1994 au laboratoire. Malgré les difficultés de manipulation de ces objets gorgés d'eau, on peut inventorier une quarantaine de lots où l'on identifie livres, carnets, feuillets simples, cartes postales, boîtes, multiples fragments, objets composites. On distingue également d'autres matériaux associés aux papiers et cartons: cuir, textile, caoutchouc, bois, métal, verre.

Altérations et traitements de masse

Altérations

Le milieu salin, même à une température basse et constante, sans lumière et sans oxygène, favorise des dégradations biologiques et chimiques: les papiers sont hydrolysés et recouverts d'importantes plages noires, probablement des sulfures issus de l'activité d'espèces bactériennes anaérobies.^{3,4,5} A celles-ci s'ajoutent les altérations provenant de l'environnement métallique de l'épave: principalement des traces de rouille et des dépôts ou gangues de produits de corrosion. Cependant, l'intérieur de certains objets et liasses est partiellement épargné: la pénétration des produits de décomposition du fer et les traces de sulfures y sont faibles.

Les papiers nous sont parvenus en deux étapes. D'une part sous la forme de douze lots stockés dans un bac dont l'eau s'était partiellement évaporée: les objets formaient des blocs compacts extrêmement mous; les cinq lots qui s'étaient trouvés partiellement au contact de l'air étaient recouverts d'épaisses couches de moisissures variées. D'autre part, deux mois plus tard une quantité importante de papiers amalgamés, nauséabonds et couverts d'une boue noire ont été découverts à l'intérieur d'une sacoche dans une malle stockée dans l'eau en attente de traitement.

* Auteur à qui la correspondance doit être adressée

Dans les deux cas, il fallait stopper en urgence le développement fongique: tous les lots (une quarantaine à présent), enveloppés dans du papier de chanvre et des non-tissés synthétiques, ont été immergés dans de l'eau déminéralisée additionnée d'un fongicide (Vitalub QA 50 NA[®], sel d'ammonium quaternaire: 0,5% à 2%), opération renouvelée plusieurs fois.

Les essais de déliassage, dans ou hors de l'eau, se sont révélés dangereux: la séparation des pièces devient plus difficile quand on se rapproche du coeur des liasses; elle est impossible pour les objets recouverts de produits de corrosion ou pour les livres, excepté certaines pages. Par ailleurs, dans le cas des cartes postales, des produits constitutifs ou provenant d'altérations se mettent en dispersion. L'augmentation soudaine du nombre d'objets à traiter (ouverture de la sacoche), les problèmes de manipulation, de déliassage et d'identification ajoutés aux risques de développement de micro-organismes ne permettent plus d'envisager le séchage contrôlé et le traitement des lots un à un: ce que l'on pouvait envisager pour douze lots présente trop de risques pour une quarantaine. Tout cela, ajouté aux facteurs temps et argent, nous a amené à opter pour un traitement de masse: séchage par lyophilisation, suivie d'une désinfection.

Lyophilisation⁶

PRINCIPE

Le procédé consiste à congeler les objets pour transformer l'eau qu'ils contiennent en glace, puis à éliminer cette glace par sublimation en faisant le vide dans l'enceinte où ils sont placés. La technique de mise en oeuvre permet l'assèchement de nombreux objets à la fois. Le papier ne pose généralement aucun problème, il faut cependant veiller à ne pas faire désorber trop d'eau aux documents une fois la sublimation de la glace achevée. Cette réserve est encore plus importante pour le cuir.

La lyophilisation a été de nombreuses fois utilisée pour le sauvetage de livres inondés et de cuirs gorgés d'eau. Le CRCDG a, entre autres, traité un ensemble de documents provenant d'une plate-forme pétrolière⁷ et une collection de revues sur papier glacé appartenant au Museum National d'Histoire Naturelle.⁸

APPLICATION AUX OBJETS DU TITANIC

Pour le transport, chaque lot a été protégé d'une nouvelle enveloppe de papier de chanvre et d'un non-tissé synthétique, le tout enserré dans un filet sur lequel a été attaché le numéro d'inventaire, puis rangé dans un sac hermétique en polyéthylène contenant un peu d'eau déminéralisée et dont on a extrait l'air.

Les papiers ont été classés en trois groupes afin de traiter des lots homogènes en épaisseur, le temps nécessaire à la lyophilisation dépendant de la quantité d'eau présente. Un quatrième groupe était composé des reliures en cuir avec leurs plats de carton [10 lots (épaisseur inférieure à 1,5 cm), 12 lots (épaisseur de 1,5 à 4 cm), 5 lots (épaisseur de 4 cm à 7,5 cm) et 4 reliures].

Les papiers ont subi une congélation de plusieurs heures à -40°C, ce qui produit une température d'environ -30°C à l'intérieur des liasses. Puis la pression dans l'enceinte a été abaissée à quelques dixièmes de mm de mercure et la sublimation de la glace a alors commencé. Afin d'accélérer légèrement l'assèchement, la température de l'étagère sur laquelle étaient posés les documents a progressivement été amenée à +5°C, celle-ci restant à l'intérieur des objets à 0°C tant que de la glace y subsiste encore. Par ailleurs, les matériaux étant particulièrement fragiles, l'opération a été stoppée quand la moitié supérieure des liasses est devenue sèche, afin que celle-ci ne souffre pas trop d'un "sur-séchage" qui pourrait être préjudiciable notamment aux charges et liants des tracés et impressions. Les documents ont ensuite été retournés pour laisser libre la partie encore humide et l'opération recommencée.

Le traitement du cuir est plus délicat, car il ne faut en aucun cas lui faire subir un séchage trop poussé qui provoquerait un retrait dimensionnel. Afin d'éviter cet inconvénient, une substance hygroscopique y est introduite. On réalise cette opération en l'immergeant pendant quelques jours dans une solution de polyéthylène glycol (PEG 400 à 30% dans de l'eau déminéralisée). Ce produit d'imprégnation a de plus la propriété d'être cryoprotecteur: il s'oppose à la formation de grands

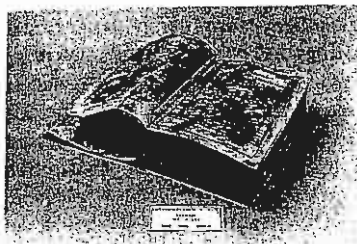


Figure 2. Dictionnaire de 800 pages, après lyophilisation.

cristaux de glace qui pourraient endommager la structure fragile que constitue le cuir ancien. Les reliures en cuir du Titanic ont ainsi été traitées au PEG, puis lyophilisées dans les mêmes conditions que celles décrites précédemment, mais en chauffant la plaque encore plus modérément et en cassant le vide dès que les sondes de température placées dans les cuirs "éprouvettes" indiquaient que des valeurs positives étaient atteintes.

Le tout a ensuite été désinfecté à l'oxyde d'éthylène,⁹ selon le procédé pratiqué au CRCDG, avec le reste des objets non lyophilisés séchés progressivement à l'air (feuilles et cartons isolés, objets tridimensionnels ou contenant des matériaux composites).

RÉSULTATS

La lyophilisation s'est révélée être un traitement rapide et adapté à nos besoins puisque plus de 80% des documents ont pu être séparés mécaniquement. Cependant certaines cartes postales, extrêmement fragiles, posent encore des problèmes de déliassage: la préparation blanche du support est pulvérulente, la couche de gélatine craquelée et des déplaquages se sont produits. Quelques papiers glacés restent partiellement collés. Enfin, là où des produits de corrosion recouvrent les tranches des livres ou ont pénétré à l'intérieur des liasses en formant des croûtes, la séparation des feuilles reste impossible. Pour les reliures, restées souples, on observe une très légère rétraction du cuir par rapport aux plats de carton.

Commence alors la deuxième phase du travail: identification des documents, examen, comptage des pièces, photographies; de 40 lots on passe à environ 400 pièces. Les propositions d'intervention puis de stockage, la sélection des pièces à restaurer et la planification du travail peuvent être envisagées.

Traitements de conservation-restauration

Dans un premier temps, les traitements chimiques avaient été écartés. En effet, si les traitements par électrophorèse ou blanchiment effectués lors de la première campagne de restauration¹⁰ avaient donné des résultats sur les papiers très résistants des billets de banque, la fragilité de l'ensemble des papiers de la fouille 93 ne permettait pas d'envisager ces mêmes méthodes. Cependant, il était nécessaire d'enlever les produits de corrosion du fer(III) car ils catalysent les réactions de rupture de chaîne de la cellulose. Nous avons cherché un procédé qui puisse diminuer et stabiliser ces produits de corrosion, très recouvrants et formant une croûte épaisse sur certains objets, afin de ralentir le processus de dégradation et d'augmenter la lisibilité des documents. Sous la conduite de Ian MacLeod^{11,12,13,14} un complexant, habituellement utilisé pour les objets organiques (bois/cuir) provenant de fouilles sous-marines, a été testé sur des échantillons-papier.

Traitement chimique: le citrate d'ammonium

LA MÉTHODE

Nous avons travaillé avec du citrate d'ammonium (di-ammonium hydrogénéocitrate de formule chimique $(\text{NH}_4)_2\text{HC}_6\text{H}_5\text{O}_7$). Son action est tout d'abord testée sur un échantillon de papier journal très dégradé par les produits de corrosion du fer, puis sur des fragments de papiers provenant du Titanic, imprimés en noir ou en couleur (papier journal, papier glacé, timbre...). L'échantillon est immergé dans une solution de citrate d'ammonium à 3% dans de l'eau déminéralisée tamponnée à pH 7.5 à l'aide d'ammoniaque. Un peu de dithionite de sodium $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ (environ 0,5% en masse) est dispersé dans la solution et celle-ci légèrement remuée. La réaction démarre presque instantanément, les taches de rouille commencent à s'éclaircir, la solution se colorant en jaune puis en vert-gris, révélateur du complexe de fer qui s'est formé. D'importants dépôts de fer peuvent progressivement être dégagés. Les dépôts noirs tombés au fond du bac sont principalement composés de magnétite Fe_3O_4 (identifiable par sa propriété d'attraction vers un aimant).

Le dithionite de sodium agit comme un agent chimique réducteur qui réduit certains ions Fe^{3+} en ions Fe^{2+} au sein des produits de corrosion incrustés dans le papier. Ces derniers sont essentiellement constitués par un réseau de $\text{FeO}(\text{OH})$ volumineux et compact. La réduction des ions Fe^{3+} provoque une instabilité du

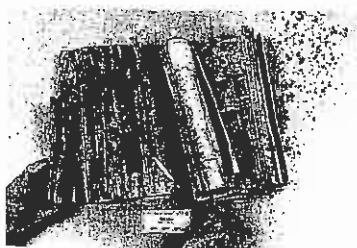


Figure 3. Séparation de plusieurs magazines roulés ensemble, après lyophilisation.

réseau de $\text{FeO}(\text{OH})$ qui devient alors plus facilement complexable par le citrate d'ammonium. A pH neutre, le fer(III) peut former un complexe stable, un citrate de fer de formule $(\text{Fe}_2(\text{OH})_2\text{Citrate}_2)^{2-}$. Il est important d'agiter doucement la solution dès le démarrage de la réaction chimique afin de l'oxygéner, permettant ainsi à l'oxygène dissous d'oxyder les ions ferreux en solution en ions ferriques qui formeront d'autres citrates de fer stables. L'imbrication des produits de corrosion au coeur des fibres du papier est telle que si l'on cherche à les enlever totalement, on risque d'endommager la structure du papier; c'est pourquoi l'enlèvement des taches d'oxydes est arrêtée au bout de quelques heures.

L'avantage de cette méthode d'élimination des taches de fer est que le traitement s'opère à un pH voisin de 7. On évite l'altération du papier en milieu acide que l'on rencontrerait lors des traitements utilisant l'acide citrique ou l'acide oxalique. Dans notre cas, si le pH de la solution a tendance à diminuer très légèrement en accord avec la réaction d'oxydation du dithionite de sodium en sulfate, selon la réaction : $\text{S}_2\text{O}_4^{2-} + 4\text{OH}^- \rightarrow 2\text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$, ceci ne présente pas de risque particulier quand on considère la quantité minimale de dithionite de sodium nécessaire pour démarrer la réaction et le caractère tampon de la solution de citrate d'ammonium. Il convient donc d'utiliser le dithionite de sodium en petite quantité pour éviter une acidification de la solution, et de contrôler régulièrement le pH du bain. Les études sur les bois gorgés d'eau, précédemment citées, indiquent qu'après rinçage il ne restait aucune trace de soufre, montrant qu'il n'y a pas d'absorption de dithionite dans les bois dégradés. Il en est certainement de même pour les papiers.¹⁵

CONSTATS

Le bilan des essais est le suivant: le retour à une étape humide prolongée de deux à trois heures est un handicap et on constate que certaines charges ou préparations des papiers d'impression, libérées du "ciment" formé par les produits de corrosion, adhèrent mal aux fibres et ont tendance à se disperser dans l'eau. Par contre, on constate aussi la disparition totale de certaines taches couleur rouille, l'élimination des dépôts laissant à leur place des traces de teinte orangée ou gris-bleu pâle; l'aspect du papier est inchangé après traitement, sans blanchiment des fibres ni modification des couleurs imprimées; enfin, la lisibilité des documents est considérablement améliorée. L'ensemble de ces résultats nous a décidés à choisir ce traitement pour un certain nombre d'objets.

APPLICATION AUX PAPIERS DU TITANIC

La sélection des pièces a été faite selon trois critères principaux: le degré d'altération des documents, lorsque des dépôts épais limitaient leur manipulation et leur restauration; l'existence de "doubles" ou documents similaires permettant un échantillonnage et des éléments de référence; l'intérêt de certaines pièces qui, du fait de leur contenu, seraient de toute évidence présentées en exposition au public et pour lesquelles une plus grande lisibilité devait être recherchée. Cinquante-huit pièces ont ainsi été traitées, pour la plupart des imprimés, plusieurs couvertures couleur, quelques documents manuscrits à l'encre ou au crayon. Les types de papier sont variés: papier à lettre, papier pour impression, carton mince...

Deux concentrations de citrate d'ammonium ont été utilisées (3 et 5% dans l'eau déminéralisée), le pH des solutions étant ajusté entre 7.5 et 8.5 à l'aide d'ammoniaque. Les documents, protégés par des non-tissés, sont immergés dans la solution, seuls ou en série (dans le cas des magazines et carnets). Le dithionite de sodium en poudre, préparé à 0,5 % est ensuite ajouté. Au fur et à mesure que la réaction se produit, les éléments mis en suspension sont délicatement éliminés au pinceau. Selon l'état d'altération des documents, la durée du traitement varie de 15 à 75 minutes. Trois rinçages, d'une durée de 20 à 30 minutes chacun dans de l'eau déminéralisée, sont effectués. Le dernier, auquel on ajoute de l'hydroxyde de calcium, est alcalin (pH 10/10.5). Parfois un rinçage supplémentaire s'est avéré nécessaire.

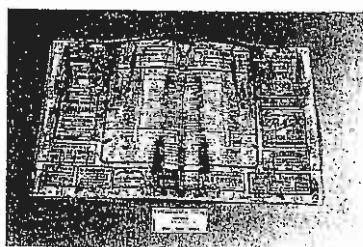


Figure 4. Un des magazines, après traitement au citrate d'ammonium, renforts et mise à plat.

Restauration et stockage

Plus de 376 pièces ont été comptées. L'inventaire nous évoque une poésie de Prévert: 150 cartes postales, 1 boîte à cigarettes, 69 enveloppes et lettres écrites, 5 livres et dictionnaires, 73 cartes et cartons, 1 jeu de cartes, 35 étiquettes de voyage

et feuillets publicitaires, 1 maquette d'avion, 25 magazines et journaux, 13 agendas et carnets, 1 coffret de papier à lettre... mais également des gommes, rubans, ficelles, épingles, boucles métalliques... et encore des signets en satin, des fleurs séchées glissées entre les pages... mais pas de raton laveur! Les nombreux documents contenus dans la sacoche appartenaient à une seule personne.

Comme nous l'avons vu, d'importantes altérations résultent du séjour dans l'eau de mer: hydrolyse du papier, pénétration des sulfures noirs et de la rouille, agglomérats de produits de corrosion. Il en résulte une fragilité mécanique extrême de la structure, une solubilisation des encollages et adjuvants, une mauvaise adhérence des charges des papiers glacés. Pour les cartes postales, on note également une pulvérulence de leur préparation, le craquèlement des émulsions photographiques, le pâlissement des encres d'écriture. Par ailleurs on identifie des dépôts divers, notamment des graisses animales (suint?). De nombreux documents ne sont plus lisibles. Les feuillets ont perdu leurs agrafes métalliques, les couvertures reliées sont désolidarisées mais les cahiers des ouvrages restent maintenus ensemble.

La sélection des objets à restaurer a tenu compte des facteurs cités plus haut, ainsi que des limites budgétaires. Environ 119 pièces ont été traitées, dont 20 carnets et fascicules. Toutes les opérations effectuées ont pour but de renforcer la structure des papiers, de redonner aux documents composés de plusieurs feuillets et aux carnets une cohésion perdue afin d'en permettre la manipulation, la lecture et la présentation. Ces traitements sont de type classique: élimination mécanique des dépôts; réencollages à la méthyl cellulose (Tylose[®] MH 300 P: 0,5 à 1% dans l'eau); utilisation de colle d'amidon de blé, de papiers japon de grammages différents (6 à 24 g, fibres 100% Kozo) pour les renforts, doublages et incrustations; pour ces dernières, des papiers occidentaux sont également utilisés (Moulin du Verger, Puymoyen, France), teintés à l'aquarelle ou aux colorants (procédé Ciba Geigy[®]); mise à plat entre buvards sous poids. Aucune réintégration n'est faite. Les toiles fines et lacunaires (carnet ou petit livret) sont renforcées de crépeline de soie ou de tarlatane de coton teintées avant d'être remontées sur les pièces.

Un projet de stockage de l'ensemble des papiers sortis des fouilles est en cours d'étude. Le rangement devra convenir à la fois aux papiers fous et aux objets en trois dimensions, s'adapter aux documents, restaurés ou non, déliassés ou non, assurer leur calage, tant pour leur transport que pour le stockage à long terme et enfin éviter autant que possible leur manipulation directe. La proposition actuellement retenue consiste en unités de rangement pliables de format standard, en carton ondulé non acide. Chaque boîte contiendra un ou plusieurs objets d'une même série; les objets seront individuellement protégés et calés dans des casiers-tiroirs en carton neutre et mousse de polyéthylène évidée à la forme des objets et munis de couvercles; plusieurs "tiroirs" pourront être superposés dans un même contenant. Les boîtes serviront également de modules pour le transport et pourront contenir les éléments nécessaires à la présentation des pièces en cas d'exposition (passe-partout...). La réalisation de cette campagne dépend du financement qui pourra lui être alloué.

Conclusion

La collection des papiers du Titanic est hors norme, exceptionnelle, non pas du fait de la rareté des pièces mises à jour, mais parce que ces dernières portent en elles la charge émotionnelle, presque palpable, de l'histoire de leur propriétaire et celle, dramatique, de leur naufrage. Si des documents informés nous sont parvenus, d'autres, notamment des lettres, des cartes postales, sont restés intacts, totalement indemnes de leur immersion dans l'océan! Chaque objet était déroutant et nous hésitions à chaque intervention de peur de détruire le charme qui émanait d'eux.

Face à ces données subjectives, des contraintes bien réelles ont limité nos choix: un budget fixe, la nécessité de résultat et de lisibilité pour exposition, et bien sûr... la prudence. Dès l'abord, après lyophilisation, ont été écartés de tout traitement les livres, certaines boîtes et les cartes postales, objets qui nécessitent des opérations longues ou des analyses et un budget spécifique. Pour les autres pièces, nous avons décidé de garder des témoins intouchés ou à des stades différents d'intervention, soit comme référence historique, soit pour permettre des traitements nouveaux. Pour le procédé au citrate d'ammonium, si les résultats obtenus sont très satisfaisants, son application aux papiers en est à un stade expérimental et il reste à

vérifier son innocuité sur le long terme. Avant d'entamer de nouvelles campagnes de restauration (et même de fouille¹⁶), il nous paraît fondamental d'assurer à la collection existante un stockage adapté et un environnement stable, et par ailleurs d'entamer des recherches spécifiques sur les altérations des papiers en milieu sous-marin, domaine jusqu'ici à peu près non abordé.

Remerciements

Que soient ici remerciés RMS Titanic Inc., Georges Tulloch et Arnie Geller, pour leur soutien et leur confiance, les sociétés Zeiss et Gamain pour les matériels optique et d'éclairage qu'elles ont bien voulu mettre à notre disposition et toute l'équipe de LP3 Conservation pour son dynamisme et sa disponibilité.

Notes et références

1. John P. Eaton, Charles A. Haas, *Titanic, triumph and tragedy* (New York : W.W. Norton & Company Inc, 1986)
2. Jacques Montduçon, No'l Lacoudre, *Les objets du Titanic, la mémoire des abîmes* (Admitech).
3. Victoria Jensen, "Conservation of wet organic artefacts excluding wood", in *Conservation of Marine Archaeological Objects*, ed. Colin Pearson (Londres : Butterworths, 1987).
4. Colin Pearson, *Conservation of Marine Archaeological Objects* (Londres : Butterworths, 1987).
5. Sylvia de La Baume, "Les matériaux organiques", in *La Conservation en archéologie*, ed. M.C. Berducou (Paris : Masson, 1990).
6. Ces traitements ont été effectués par Claire Chahine au CRCDG.
7. L'Alexandre Kieland, sombrée en mer du Nord et remise à flot en mars 1984. Il s'agissait de différents ouvrages, livres, photocopies, rouleaux d'enregistrement, la plupart formant justement des blocs compacts dont la consultation a été rendue possible par la lyophilisation. M. Leroy, "La lyophilisation des documents immergés dans l'eau de mer", in *Les Nouvelles de l'ARSAG*, no. 0, 1985, pp.2-3.
8. Cette collection, après inondation, était devenue inconsultable, les papiers s'amalgamant lors de leur séchage à l'air libre. Ils ont été d'abord immergés dans l'eau afin de les remouiller complètement puis lyophilisés. La quasi totalité des feuilles a pu ensuite être séparée mécaniquement. (Rapport CRCDG 1988, non publié).
9. Ce composé est utilisé dans un autoclave en mélange avec du Fréon 134. L'opération est réalisée à 20-22°C et 50% d'humidité relative et dure 6 heures. Quand la désinfection est terminée, on effectue trois rinçages en extrayant l'oxyde d'éthylène par pompage, puis en le remplaçant par de l'air. Les objets sont ensuite sortis et laissés à désorber pendant 48 heures dans une pièce ventilée.
10. Il s'agit de la campagne de restauration menée par EDF-Valecra en 1988 et 1989 à laquelle ont participé F. Lefebvre, S. de La Baume et C. Laroque (cf N. Lacoudre, op. cité).
11. Ian MacLeod, Directeur du laboratoire de conservation du Western Australian Museum, Australie.
12. Stability constants, supplément no.1, Special publication 25, (Londres, Chemical Society).
13. I.D. MacLeod, P. Brooke & V.L. Richards, "Iron corrosion products and their interactions with waterlogged wood and PEG", in *Proceedings of the 4th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Material Conference*, ed. Per Hoffmann (Bremmerhaven, 1990), pp. 199-132.
14. I.D. MacLeod, P. Mardikian V.L. Richards, "Observations of the extraction of iron and chloride ions from composite materials", in *Proceedings of the 4th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Material Conference*, ed. Per Hoffmann (Portland/Maine, 1993), pp. 199-211, Special discussions edited by Tara Grant & Thomas Dalcy.
15. Le contrôle des bains sur les bois gorgés d'eau montre que l'enlèvement du fer répond à un phénomène de diffusion : si l'on représente sur un graphique les concentrations en fer en fonction de la racine carrée du temps de traitement, on obtient alors une droite. L'étude de ces phénomènes est décrite de façon très approfondie dans les articles de I.D. MacLeod, op. cité, notes 12, 13, 14.
16. Victoria Jensen, "La conservation des matériaux organiques gorgés d'eau : notre honte cachée", *Museum*, vol. XXXV, no.1 : Musées et patrimoine subaquatique (1983).