

La méthode « Nucléart » : la radiochimie au service de la conservation du patrimoine

Résumé Depuis plus de 50 ans, l'irradiation gamma permet à ARC-Nucléart de procéder à des traitements pour la conservation d'objets du patrimoine. Par simple exposition au rayonnement gamma, les traitements biocides stoppent les attaques d'insectes xylophages et le développement des microorganismes (moisissures, champignons, bactéries ...). L'utilisation d'une résine radio-durcissable par un procédé d'imprégnation vide-pression suivi d'une réticulation radio-induite, dit méthode « Nucléart », conduit à une consolidation par densification des objets en bois particulièrement dégradés. Différents exemples, dont des réalisations emblématiques qui ont marqué l'histoire d'ARC-Nucléart, illustrent ces techniques à travers cet article.

Mots-clés Irradiation gamma, traitement biocide, consolidation, résine, styrène-polyester, patrimoine culturel.

Abstract The "Nucléart" method: radiochemistry at the service of heritage conservation

For more than 50 years, gamma irradiation has allowed ARC-Nucléart to carry out treatments for the conservation of heritage objects. By simple exposure to gamma radiation, biocidal treatments stop attacks by wood-eating insects and the development of microorganisms (mold, fungi, bacteria, etc.). The use of a radio-curable resin by a vacuum-pressure impregnation process followed by radio-induced crosslinking, known as the "Nucléart" method, leads to consolidation by densification of particularly degraded wooden objects. Various examples, including emblematic achievements which have marked the history of ARC-Nucléart, illustrate these techniques through this article.

Keywords Gamma irradiation, biocidal treatment, consolidation, resin, styrene-polyester, cultural heritage.

Les traitements par rayonnements ionisants pour la conservation du patrimoine culturel

L'irradiation par rayonnements ionisants se révèle un outil puissant utilisé pour de nombreux procédés [1]. Parmi les sources de rayonnements utilisées, le rayonnement gamma est indéniablement le plus employé. Par exemple, l'irradiation gamma est une technique très employée par les services sanitaires pour son effet biocide. Par ailleurs, dans de nombreux domaines, la polymérisation et la réticulation radio-induites sont des procédés reconnus, qui suscitent de plus en plus d'intérêt, notamment pour obtenir ou améliorer les propriétés de certains plastiques ou gels, que ce soit en utilisant du rayonnement bêta, X ou gamma.

Dans les années 1970, à Grenoble, le rayonnement gamma a été utilisé pour traiter des objets patrimoniaux en vue de leur conservation. Parmi les nombreuses opérations réalisées dans ces années pionnières, on peut citer les traitements emblématiques de consolidation d'un parquet marqueté historique de l'Hôtel de Lesdiguières [2], de stabilisation d'objets archéologiques médiévaux en bois gorgés d'eau issus des fouilles du Lac de Paladru [3] et de désinfestation de la momie de Ramsès II [4, 5]. Ces succès ont encouragé le Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) à consacrer un programme à la conservation des objets du patrimoine [6]. Cette activité se perpétue aujourd'hui au sein de l'Atelier de Recherche et Conservation Nucléart (ARC-Nucléart) à Grenoble, qui utilise toujours le rayonnement gamma comme procédé de conservation [7], tant pour le traitement biocide [8] que pour la consolidation avec de la résine radiopolymérisable [9].

Les collections et objets confiés à ARC-Nucléart proviennent de sites archéologiques, de musées, de collectivités locales, et même parfois de particuliers. Ils peuvent aussi nous être

confiés par des ateliers de restauration ou des restaurateurs indépendants qui nous sollicitent pour des traitements particuliers. Chaque élément étant unique par sa nature, ses dimensions, son histoire..., les procédures doivent être adaptées. Les traitements biocides sont les plus courants et ne nécessitent qu'une « simple » exposition au rayonnement à une dose déterminée selon le type de contaminant biologique à éliminer. Les traitements de consolidation par des résines radio-durcissables nécessitent quant à eux deux étapes bien distinctes : l'imprégnation, puis la réticulation radio-induite. Ce type de consolidation est utilisé moins fréquemment que d'autres procédés pratiqués dans notre atelier, à la fois pour des raisons techniques et déontologiques. Il n'en reste pas moins une technique très appropriée dans des cas spécifiques où il est difficile, voire impossible, de trouver des alternatives.

L'article vise à présenter ce procédé de consolidation appliqué au patrimoine, baptisé « Nucléart », dont ARC-Nucléart est à l'origine et reste, aujourd'hui encore, le spécialiste mondial.

Consolidation de matériaux poreux dégradés pour la conservation du patrimoine

Pour consolider des matériaux poreux, le conservateur-restaurateur utilise classiquement une solution constituée d'un polymère solide dissous dans un solvant qui diffuse et imprègne le volume à consolider. La solidification est obtenue par l'évaporation du solvant, laissant une couche de consolidant plus ou moins mince dans la porosité. L'alternative est d'éviter l'évaporation du solvant, de manière à augmenter la quantité de consolidant mise en jeu dans le matériau poreux : après la phase d'imprégnation, une réaction va transformer la totalité de résine liquide présente en un polymère solide, provoquant une solidification sans évaporation. Cette technique est

appelée consolidation par densification : le produit consolidant occupe tout le volume de la porosité, maximisant la quantité finale de consolidant et, par conséquent, l'efficacité de la consolidation.

L'utilisation de résines radio-durcissables permet un contrôle et une bonne maîtrise des deux étapes : l'imprégnation est réalisée avec une formulation de résine suffisamment fluide pour pénétrer toute la porosité du matériau, sans aucun agent de polymérisation. L'opérateur peut ainsi prendre le temps d'effectuer un nettoyage efficace et minutieux, afin d'éviter tout excès de résine en surface. L'exposition au rayonnement gamma permet enfin d'initier et de contrôler la cinétique de la solidification, qui est fonction de l'intensité du rayonnement. ARC-Nucléart utilise la résine styrène-polyester insaturé, polymérisable par réticulation radio-induite, en raison de sa stabilité et de son faible coefficient de retrait. Il est à noter que par rapport à d'autres résines, comme celles à base de monomères méthacryliques, la réticulation du styrène-polyester n'est pas inhibée par la présence d'oxygène, ce qui évite les difficultés de polymérisation en surface. Le choix de cette résine tient aussi à sa fluidité, qui présente un compromis intéressant entre une bonne imprégnation et une retenue par

capillarité dans la porosité, le tout avec une volatilité contenue, qui permet d'éviter trop d'évaporation à la surface des matériaux imprégnés lors de la phase la plus exothermique de la réticulation.

L'imprégnation des objets en bois est réalisée selon la technique vide/pression : la résine est introduite et mise sous pression (de l'ordre de 4 à 5 bars) une fois l'objet poreux dégazé sous vide, afin d'obtenir une imprégnation totale (figure 1). Elle est ensuite retenue par la capillarité de la microporosité du bois. Le plus grand récipient sous pression d'ARC-Nucléart peut contenir jusqu'à 3000 litres de résine.

Après avoir soigneusement éliminé l'excès de résine de la surface, l'objet imprégné est irradié, entraînant une polymérisation de la résine par réticulation : les ionisations provoquent l'ouverture des doubles liaisons carbone-carbone insaturées du polyester et du styrène. Les radicaux libres ainsi formés se lient pour constituer un réseau tridimensionnel (voir figure 2). On obtient un composé plastique solide, de type thermodurcissable, qui comble complètement la microporosité.

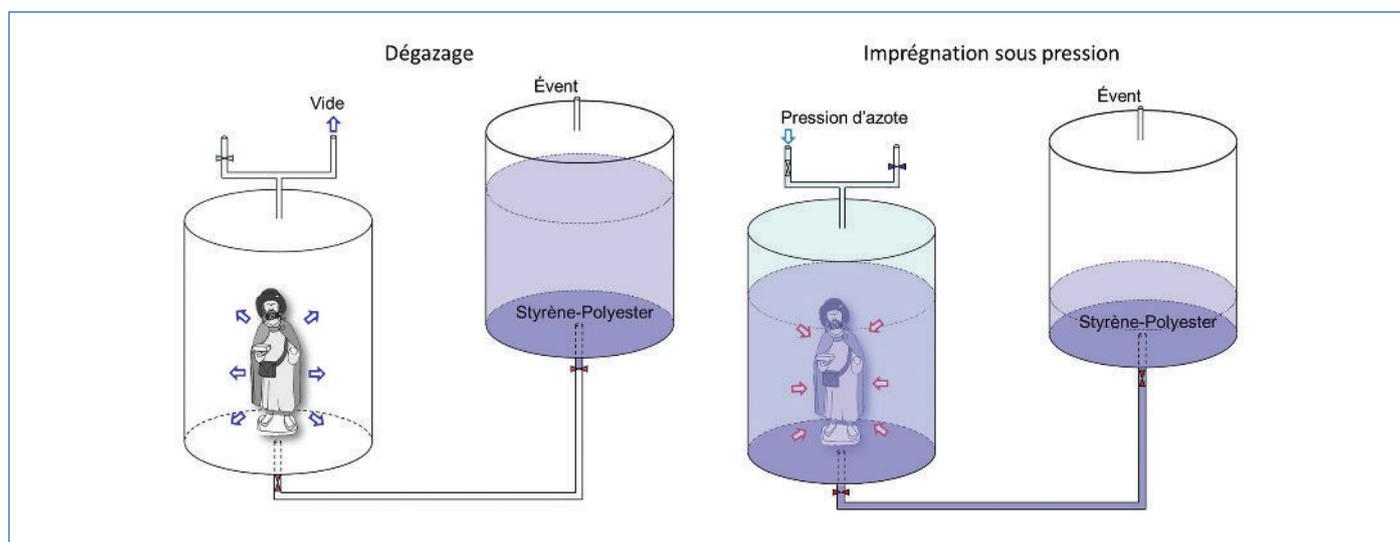


Figure 1 - Principe de l'imprégnation de résine par procédé vide/pression.

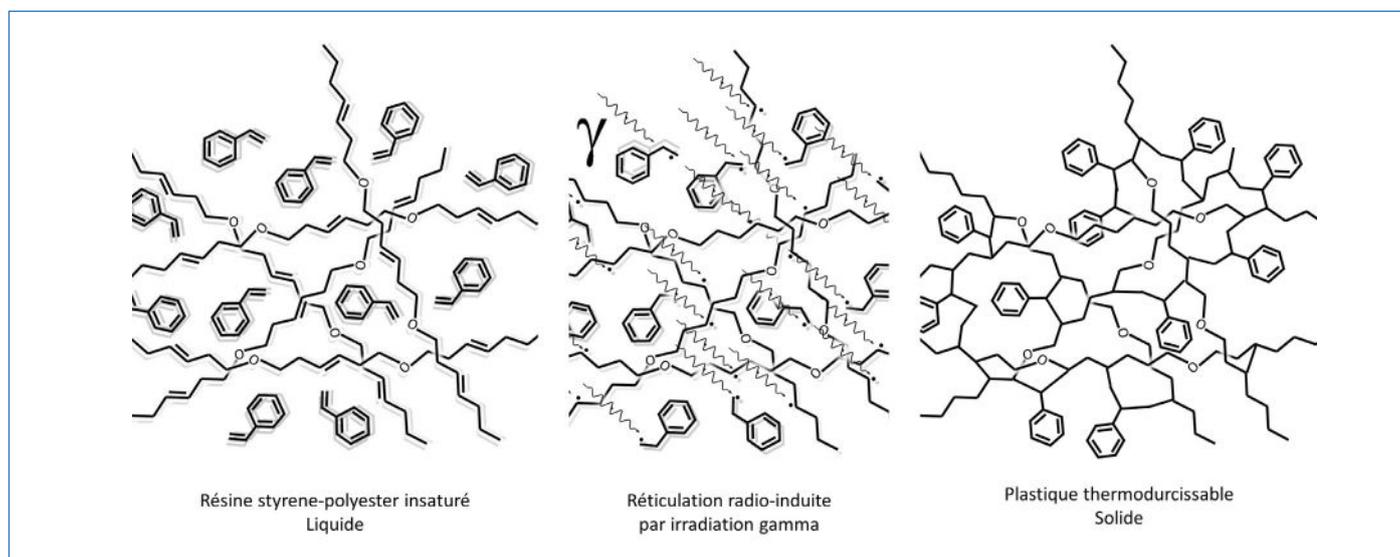


Figure 2 - Réticulation gamma de la résine styrène-polyester insaturé.

Le débit de dose doit être adapté dans les premières étapes de polymérisation, lorsque la réactivité est maximale et que la résine se transforme d'abord en gel, pour limiter les effets exothermiques. Une dose totale de 20 kGy à 30 kGy est nécessaire pour obtenir une réticulation complète.

Une technique efficace mais invasive et irréversible

Le pouvoir consolidant de la méthode « Nucléart » est évidemment largement supérieur à celui de toute autre méthode conventionnelle. La méthode peut être qualifiée d'invasive et semble aller à l'encontre des recommandations de la déontologie de la conservation du patrimoine : elle a en effet des conséquences importantes sur les propriétés physico-chimiques des objets traités. La densité et la résistance mécanique sont renforcées par l'ajout d'une quantité importante de consolidant polymérique, objectif du traitement. Néanmoins celui-ci augmente très significativement le poids, qui peut doubler, et change aussi la nature du matériau constituant l'objet. L'aspect peut également être plus ou moins modifié après imprégnation : les couleurs des surfaces sur lesquelles la résine « mouille » se trouvent légèrement rehaussées, même si l'effet de mouillage n'est pas spécifique de cette méthode et peut s'observer aussi pour des consolidations conventionnelles.

Plus fondamentalement, cette technique est irréversible, ce qui va également à l'encontre des principes déontologiques de la conservation du patrimoine. Alors que les techniques conventionnelles utilisant par exemple des acrylates dissous dans un solvant sont théoriquement réversibles – puisqu'il serait en principe possible de replonger l'objet dans des bains successifs de solvant pour éliminer petit à petit le polymère – il n'existe pas de solvant pour dissoudre le styrène-polyester réticulé. C'est la raison pour laquelle cette pratique est délibérément limitée aux cas où l'enjeu de conservation la justifie pleinement et pour lesquels il ne pourrait être garanti par l'utilisation d'une autre méthode. On peut y recourir comme « traitement de la dernière chance » pour des objets très dégradés, ou lorsqu'une résistance mécanique est requise pour conserver un usage.

L'adaptation de la méthode aux problèmes des bois archéologiques gorgés d'eau

Grâce à la stabilité du composé styrène-polyester, cette méthode est aussi appropriée pour certains traitements de bois gorgés d'eau, notamment en présence de parties métalliques indissociables de l'objet, qui seraient sensibles à la corrosion si seule la méthode conventionnelle par imprégnation de Polyéthylène Glycol (PEG) suivie d'une lyophilisation était utilisée [10]. Néanmoins, les techniques d'imprégnation par vide/pression ne peuvent s'appliquer directement sur des bois gorgés d'eau en raison de leur effondrement cellulaire lors du retrait de l'eau liquide sous vide, mais aussi de la non-miscibilité de l'eau et de la résine employée. Historiquement, pour passer de l'état « gorgé d'eau » à l'état « gorgé de résine », une technique de double échange osmotique avec solvant intermédiaire était utilisée. Néanmoins, pour des questions de sécurité et de facilité de mise en œuvre, ce procédé a été remplacé par une imprégnation à faible concentration de PEG et un séchage par lyophilisation, suivis par l'imprégnation de résine styrène-polyester par vide/pression et l'irradiation. En effet, avec cette méthode dite « Nucléart

mixte », la faible quantité de PEG nécessaire à la réalisation d'une lyophilisation sans contrainte mécanique excessive, laisse une porosité largement suffisante pour une imprégnation vide/pression efficace de styrène-polyester.

Le parquet marqueté de l'Hôtel du Connétable de Lesdiguières

Pour illustrer cette méthode, on citera pour commencer le traitement historique réalisé en 1970 du parquet marqueté de l'Hôtel du Connétable de Lesdiguières, accueillant depuis la fin du XIX^e siècle l'hôtel de ville de Grenoble. Ce parquet, copie à l'identique de 1862 du parquet original commandé en 1787 à l'ébéniste Jean-François Hache, ornait l'antichambre et le grand salon de l'Hôtel. Soumis à l'attaque des insectes et à l'usure « accélérée par les talons aiguilles »⁽¹⁾ lors de son utilisation comme salle des mariages, il fut prévu de refaire une nouvelle fois à l'identique ces 155 m² de parquet pour une nouvelle utilisation des locaux en tant que Musée Stendhal, après le déménagement de la mairie vers le bâtiment moderne qu'elle occupe actuellement.

C'est en apprenant l'existence de ce projet qu'un jeune ingénieur du service des applications des rayonnements du Centre d'Études Nucléaires de Grenoble (renommé ultérieurement CEA Grenoble) proposa une alternative à cette réfection à l'identique par la conservation de l'existant, en utilisant une technique originale et innovante : la consolidation par des résines radio-durcissables. Il s'agissait de démonter les quelques 700 panneaux marquetés de ce parquet, carrés de 45 cm par 45 cm, de les imprégner sous vide/pression d'un monomère de méthacrylate de méthyle, avant de les polymériser sous irradiation pour obtenir du poly-méthacrylate de méthyle (PPMA), consolidant ainsi l'ensemble du parquet.

Le traitement fût réalisé en un mois, entre mars et avril 1970. La remise en place du parquet nécessita la mise sous presse, en température, d'une centaine de carrés présentant des déformations importantes, en lien avec le retrait notable de cette résine lors de son homo-polymérisation. Encore à ce jour, on continue de marcher sur ce parquet dont l'intégrité mécanique n'est plus mise en cause (*figure 3*).

La statuaire polychromée, un patrimoine nécessitant parfois des interventions fortes

Fort du retour d'expérience de cette première application d'envergure, les chimistes du laboratoire proposèrent de changer de résine, abandonnant les monomères méthacryliques, pour une résine de type styrène-polyester insaturé. Ce changement découle d'un compromis car :

- bien que les monomères méthacryliques polymérisent de manière théoriquement réversible, le PPMA étant soluble dans l'acétone, le styrène-polyester polymérise quant à lui par réticulation, réaction irréversible ;
- le PPMA est thermoplastique alors que le styrène-polyester réticulé est thermodurcissable ;
- en revanche, lors de la polymérisation, le retrait est bien moindre avec le styrène-polyester qu'avec le PPMA.

Depuis, la résine styrène-polyester a été appliquée entre autres au traitement de très nombreuses statues en bois dont l'état le justifiait. En particulier, il est courant, dans un environnement inadapté, que les statues recouvertes de plusieurs couches opaques de polychromie soient particulièrement attaquées par les larves d'insectes xylophages, creusant leurs



Figure 3 - Parquet « Hache » de l'Hôtel de Lesdiguières après traitement.



Figure 4 - Statue équestre de saint Maurice avant et après consolidation et restauration.

galeries en consommant du bois tout en fuyant la lumière. Après la phase larvaire, l'insecte adulte cherche au contraire la lumière et l'on voit apparaître en surface des trous d'envol, traces extérieures de sa sortie. Cependant, si les couches de polychromie sont suffisamment opaques, l'insecte adulte sortira plus facilement par les zones les moins recouvertes de polychromie, par exemple le dos de la sculpture ou des parties déjà altérées. Lorsque ces statues sont de plus placées en

hauteur, et que leur surveillance est difficile, l'ampleur des infestations n'apparaît qu'une fois les dégâts devenus graves ou dramatiques. La méthode Nucléart apparaît alors parfois comme la seule méthode susceptible de sauver l'œuvre. Une illustration de ce cas de figure est donnée avec une statue équestre en bois polychromé datant du début du XVIII^e siècle, conservée dans l'église de la commune de Vicq, dans l'Allier (figure 4). Cette sculpture représentant saint Maurice, auquel

l'église est consacrée, était extrêmement fragilisée par une infestation généralisée d'insectes xylophages qui avait entraîné la rupture des jambes du cheval sous le poids de la partie supérieure. La queue du cheval était également désolidarisée et le bras droit de saint Maurice était détaché. La commune, lauréate de l'édition 2015 du concours « Sauvez le patrimoine de votre commune », que le CEA et ARC-Nucléart organisent en partenariat avec l'Association des maires de France et des présidents d'intercommunalité (AMF), a ainsi pu bénéficier des compétences et des techniques qu'ARC-Nucléart a développées pour la conservation et la restauration du patrimoine.

Dans un premier temps, afin de stopper l'attaque active du bois par les insectes xylophages, la statue a été désinsectisée par exposition au rayonnement gamma. Le constat d'état réalisé par les restaurateurs d'ARC-Nucléart les a amenés à proposer la méthode Nucléart comme solution la plus appropriée à la conservation de l'œuvre.

Après avoir réalisé les opérations préalables de nettoyage, de fixation des soulèvements de polychromies, ou encore de reprise de certains assemblages encore en place, l'ensemble des éléments, corps de la statue, socle, palme, queue et éléments de jambes du cheval ont été imprégnés et irradiés selon la méthode Nucléart. Après le traitement, le poids de l'ensemble a doublé passant de 20 kg à 40 kg, démontrant ainsi une très bonne imprégnation et par conséquent une consolidation particulièrement efficace.

À la suite de cette opération, les restaurateurs d'ARC-Nucléart ont pu procéder à la restauration de l'œuvre : réassemblage des différents éléments, comblement structurels et comblement des lacunes de polychromies, mise en teinte et autres retouches colorées, soclage, etc. Ainsi restaurée, la sculpture était prête à retourner dans sa commune d'origine.

Un chaland gallo-romain sauvé des eaux et de la pyrite

Pour les bois archéologiques, la méthode Nucléart a été utilisée pour de très nombreuses collections. En effet, tout en évitant l'effondrement au séchage des bois archéologiques gorgés d'eau, elle permet d'obtenir, à la différence des techniques classiques de consolidation, une bonne consolidation et une bonne stabilité chimique face aux problèmes que posent le traitement des objets composites bois et métal.

Un exemple emblématique d'objet traité par cette méthode est la barge gallo-romaine Arles Rhône 3, retrouvée par les archéologues après 2000 ans passés dans l'eau du Rhône, à hauteur de la ville de Arles. Pour son extraction, le bateau a été découpé en dix sections. Une fois sur les berges du Rhône, chaque section a été démantelée à l'exception de la proue dont l'assemblage, cerclé de fers plats renforçant ses flancs et son extrémité étroite, rendait essentielle la conservation de ces éléments métalliques. La présence conjuguée de soufre et de ces éléments métalliques apportait toutes les conditions préalables à une acidification par l'acide sulfurique et à la formation de pyrite. Surnommée le « cancer » des bois archéologiques, la pyrite est une problématique récurrente dans le traitement des bois archéologiques gorgés d'eau traités avec des produits hydrophiles qui favorisent la captation de l'humidité de l'air. Pour la proue d'Arles Rhône 3, seule la méthode Nucléart mixte était en mesure d'apporter une

réponse réduisant très significativement les risques d'une telle acidification.

Autre élément significatif à prendre en compte, pour sa présentation muséographique, le mât de halage devait être érigé en position verticale, sans support apparent et devait donc être tenonné. La méthode Nucléart mixte était alors la seule alternative envisageable.

En prévision du traitement Nucléart mixte, la proue et les éléments du mât ont donc été imprégnés dans une solution aqueuse de PEG à 20 % puis séchés par lyophilisation. Le traitement s'est poursuivi par une imprégnation sous vide/pression de résine styrène-polyester, puis une irradiation gamma pour provoquer la réticulation de la résine.

Tous les autres éléments du bateau, débarrassés de leurs clous, ont quant à eux bénéficié d'un second bain à 35 % de PEG et d'une lyophilisation.

La restauration de l'ensemble des éléments, parallèlement à la réalisation « à façon » du support muséographique a été effectuée à ARC-Nucléart. Un remontage « à blanc » a été exécuté une première fois à Grenoble avant le remontage final dans le nouveau bâtiment du musée départemental Arles Antique [11]. La proue, stabilisée par les résines hydrophobes styrène-polyester, est aujourd'hui ainsi protégée de l'acidification et de la formation de pyrite, et le mât, dont les éléments ont pu être tenonnés grâce à la tenue mécanique que lui confère ce traitement, a pu comme prévu être érigé en position verticale (figure 5).

La méthode Nucléart, le paradoxe d'une technique hors norme mais justifiée

Malgré une dérogation consciente à l'un des principes fondateurs de la déontologie de la conservation, la méthode Nucléart offre, depuis plus de 50 ans, des résultats difficilement atteignables avec les autres techniques de consolidation conventionnelles. ARC-Nucléart a ainsi uniquement recours à cette méthode lorsque son application est pleinement justifiée et lorsqu'il est admis que les procédés conventionnels de consolidation ne se révéleraient pas assez efficaces pour préserver l'intégrité de l'objet dégradé.

Cette méthode a pour force de permettre la conservation des œuvres considérées en péril.

En raison de la complexité des cas à traiter, une part d'inconnue subsiste quant au niveau de résultat pouvant être obtenu. La technique nécessite un savoir-faire particulier pour la manipulation des œuvres fragilisées et pour leur imprégnation. Par ailleurs, le nettoyage des excès de résine en surface peut s'avérer extrêmement délicat dans le cas de certaines œuvres très dégradées, ou dont les polychromies peuvent être ramollies par le styrène qui se comporte parfois comme un solvant, suivant les liants utilisés. Le léger retrait de la résine peut également engendrer des soulèvements ou des pertes de volume sur les zones les plus fragiles.

Pour des matériaux archéologiques, il est arrivé que des polymérisations soient contrariées sans que l'on en comprenne véritablement les raisons.

Toutefois, l'enjeu de conservation prime toujours et oriente le choix vers cette méthode lorsqu'elle est la seule à pouvoir être appliquée, malgré son caractère irréversible... Il est difficile de juger de ses résultats ou d'effectuer une comparaison critique *a posteriori*, puisque l'on y recourt uniquement lorsque toutes les autres méthodes se sont révélées inadaptes.



Figure 5 - Le chaland romain *Arles Rhône 3* de 31 mètres de long. Photo © R. Benali/Studio Atlantis/MDAA/CG13.

Grâce à cette technique, nombre de sculptures ont été ainsi sauvées d'une destruction totale. Des milliers d'objets archéologiques ont été conservés, étudiés et sont aujourd'hui présentés aux yeux du public dans des musées. Beaucoup d'autres ont été protégés des risques d'acidification causés par la présence de pyrite. La méthode n'a toutefois pas vocation à remplacer les techniques conventionnelles et représente un complément essentiel aux procédés actuellement proposés pour la conservation du patrimoine. Des recherches sont menées pour trouver de nouvelles formulations de résines afin d'améliorer les aspects déontologiques et sécuritaires du procédé, notamment en recherchant une résine sans styrène et réversible.

(1) L. de Nadaillac, 8 janvier 1970. Note justificative, manuscrite. Archives ARC-Nucléart.

[1] M. Ferry *et al.*, Ionizing Radiation Effects in Polymers, *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*, S. Hashmi ed., **2016**, Elsevier, p. 1-28.

[2] B. Detanger, R. Ramière, C. de Tassigny, R. Eymery, L. de Nadaillac, 1976a, Application des techniques de polymérisation au traitement des objets en bois, *Proceeding of Applicazione dei metodi nucleari nel campo delle opere d'arte Roma - Venezia 1973*, Accademia Nazionale dei Lincei (Ed.), Roma, 661-668.

[3] B. Detanger, R. Ramière, C. de Tassigny, R. Eymery, L. de Nadaillac, 1976b, Application des techniques de polymérisation au traitement des bois gorgés d'eau, *Proceeding of Applicazione dei metodi nucleari nel campo delle opere d'arte - Venezia 1973*, Accademia Nazionale dei Lincei.

[4] C. De Tassigny, M. Brouqui, 1978, Adaptation à la désinfection de la momie de Ramses II du procédé de radio-stérilisation gamma, *Comité pour la conservation de l'ICOM, 5^e réunion triennale, 78/17/5, Zagreb*, p. 1-16.

[5] L. Balout (dir.), Roubet (dir.), *La momie de Ramses II, Contribution scientifique à l'égyptologie*, Musée National d'Histoire Naturelle – Musée de l'Homme, Paris 1976-1977, **1985**, Éditions Recherche sur les Civilisations.

[6] R. Ramière, Protection de l'environnement culturel par les techniques nucléaires. *Conference proceedings of Industrial Application of Radioisotopes and Radiation Technology*, Grenoble 1981, IAEA (Ed), **1982**, Vienna, p. 255-270.

[7] L. Cortella, C. Albino, Q.-K. Tran, K. Froment, 50 years of French experience in using gamma rays as a tool for cultural heritage remedial conservation. *Radiation Physics and Chemistry*, **2020**, 171, 108726.

[8] R. Ramière, La désinfection de biens culturels par irradiation gamma, *Les contaminants biologiques des biens culturels*, M.F. Roquebert Ed., Elsevier, MNHN, **2002**, p. 291-302.

[9] Q.K. Tran, J.L. Boutaine, Trends in Consolidation of Porous Material, *Uses of ionizing radiation for tangible cultural heritage conservation*, IAEA (Ed), **2017**, p. 39-42

[10] G. Chaumat, C. Albino, K. Tran, A new protocol suitable for the treatment of composite archaeological artefacts: PEG treatment + freeze-drying + radiation-curing resin consolidation, *Proceedings of the international conference: Shipwrecks 2011 - Chemistry and Preservation of Waterlogged Wooden Shipwrecks, 18-21 octobre, Stockholm*, **2011**, p. 166-171.

[11] H. Bernard-Maugiron, M.L. Courboulès, Is it possible and reasonable to treat a 31-metre waterlogged Roman boat in just two years?, *Proceedings of the 13th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, WOAM 2016, Firenze*, **2018**, p. 115-124.

Karine FROMENT*, Ingénieur-Chercheur, **Laurent CORTELLA**, Ingénieur-Chercheur, **Christophe ALBINO**, Technicien, **Amy BENADIBA**, Conservateur du Patrimoine.

ARC-Nucléart – CEA, GRENOBLE.

*karine.froment@cea.fr

