

**L'usage des rayonnements ionisants dans les traitements de conservation du patrimoine**

**Laurent CORTELLA**

## 1. INTRODUCTION

En matière de conservation du patrimoine, la conservation curative se définit comme toute action impliquant une interaction directe sur le matériel culturel dans le but de le conserver. Parmi les nombreuses règles déontologiques qui accompagnent ce type d'intervention, le concept d'intervention minimum est primordial : il s'agit de conserver le bien dans l'état le plus proche de son origine avec l'exigence d'efficacité qui fera en sorte qu'il le sera «aussi longtemps que possible ».

L'objectif de la conservation curative se limite donc bien souvent uniquement à stabiliser les objets patrimoniaux, en neutralisant les processus de dégradation en cours. Parfois, mais seulement si nécessaire, on pourra consolider les objets les plus fragiles dont la stabilité mécanique intrinsèque ne se suffit plus. Pour ces deux aspects, l'irradiation par des rayonnements ionisants, et en particulier le rayonnement gamma, peut offrir une réponse appropriée.

En France, dès le début des années 1970, le rayonnement gamma a été utilisé successivement pour la consolidation d'un parquet marqueté historique<sup>1</sup>, pour des traitements de stabilisation d'objets archéologiques médiévaux en bois gorgés d'eau<sup>2</sup> et pour la désinfestation de la momie de Ramsès II<sup>3</sup>.

Ces succès ont encouragé le Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) à dédier un programme pour la conservation du patrimoine culturel, programme qui a donné naissance à l'actuel Atelier Régional de Conservation Nucléart (ARC-Nucléart) à Grenoble, qui utilise toujours le rayonnement gamma comme un de ses principaux moyens pour traiter le *patrimoine* culturel.



**Figure 1 : Irradiation d'une momie du musée des beaux-arts de Grenoble en préalable de l'irradiation de la momie de Ramsès II**

<sup>1</sup> Parquet de l'ancien hôtel de ville de Grenoble (Hôtel du connétable de Lesdiguières) attribués aux ébénistes Hache, XVIIIe siècle. Ce parquet marqueté de 150 m<sup>2</sup> accueillait la salle des mariages. Certaines essences étaient particulièrement attaquées par les insectes xylophages, d'autres par le piétinement et les talons à aiguille. En 1970, il a été complètement démonté, imprégné de monomère de méthacrylate de méthyl, durci sous rayonnement, puis réinstallé. 45 ans après, on continue de marcher dessus.

<sup>2</sup> Les « chevaliers paysans de l'an mil » se sont installés au bord du lac de Paladru, en Isère, vers l'an mil à la faveur d'une baisse du niveau de celui-ci. Ils se sont retirés quelques décennies plus tard quand le niveau du lac a remonté, laissant sur place une importante quantité de mobilier en matériaux organiques. Fouillés à partir de 1972 jusqu'en 2009, l'immense majorité du mobilier en bois gorgé d'eau prélevé a été traité en utilisant des résines durcies par polymérisation sous rayonnement gamma.

<sup>3</sup> La momie de Ramsès II a été traitée à la dose de 18 kGy en 1977, à Saclay, sous la direction de Christian de Tassigny, de l'équipe « Nucléart » de Grenoble. Ce traitement a fait l'objet d'une étude préalable très complète du comportement des constituants d'une momie sous irradiation, avec le soutien de nombreux laboratoires français.

Ces techniques se sont aussi développées ailleurs dans le monde et sont aujourd'hui bien présentes sur plusieurs continents<sup>4</sup>.

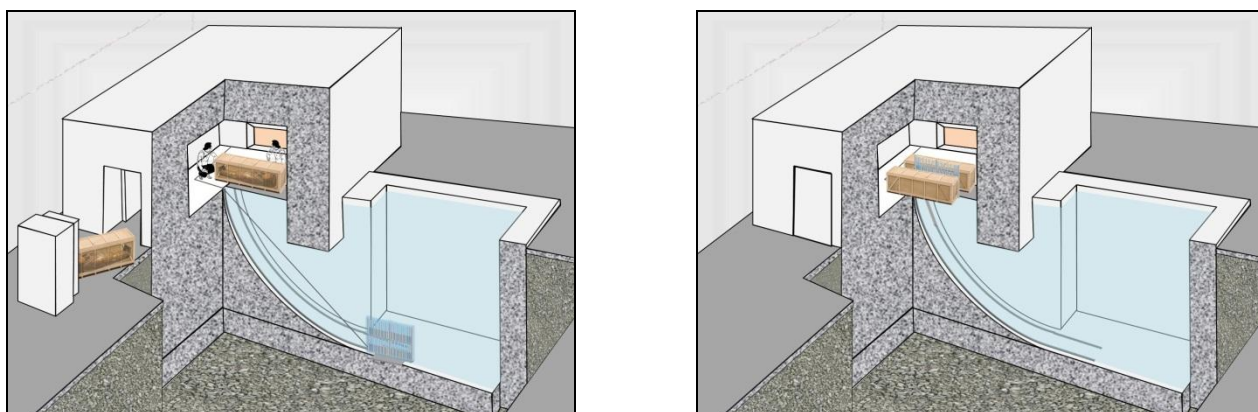
## 2. LES EFFETS BIOCIDES UTILISÉS À DES FINS DE DÉSINSECTISATION OU DÉSINFECTATION

L'irradiation gamma est très largement utilisée pour ses effets biocides dans les domaines de la stérilisation médicale et pharmaceutique, de l'assainissement des cosmétiques, et à des niveaux moindres pour divers traitements dans l'agro-alimentaire. Son efficacité n'est plus à démontrer, mais plus que l'efficacité, c'est la fiabilité du procédé qui la distingue des autres techniques concurrentes.

Il n'y a aucun résidu dans les matériaux traités, et aucun effet thermique associé (ces techniques sont parfois appelées stérilisation ou pasteurisation à froid). Ces avantages font que l'irradiation est souvent perçue comme la technique de référence pour les services sanitaires au sens large, comme par exemple les services de quarantaines pour l'import-export. Ces mêmes aptitudes s'appliquent à son utilisation dans le domaine de la conservation du patrimoine.

En effet, une part importante de notre patrimoine culturel est constituée de matériaux organiques et est donc particulièrement sujette aux dégradations impliquant des vecteurs biologiques. Le pouvoir biocide des rayonnements ionisants permet de contrôler cette biodégradation. De fait, les ravageurs, et en premier lieu les insectes ou les champignons infestant nos collections patrimoniales, peuvent être facilement éradiqués par simple exposition à ces types de rayonnements.

La dose nécessaire dépend de l'organisme vivant ciblé. On utilise 500 grays<sup>5</sup> (Gy) minimum pour un traitement insecticide et le plus souvent 10 000 Gy (10 kGy) pour un traitement fongicide capable d'inactiver la quasi-totalité des champignons les plus résistants et leurs spores<sup>6</sup>.



**Figure 2 :** Principe d'une irradiation à ARC-Nucléart : Hors période d'irradiation, les sources radioactives de Cobalt 60 (environ 2000 Tbcq), émettrices de rayonnement gamma, sont stockées dans la piscine dont la hauteur d'eau fait un écran suffisant pour protéger les opérateurs. Ceux-ci peuvent alors accéder dans la cellule d'irradiation sans restriction pour y déposer les pièces à irradier (ici des momies dans leur caisse de conditionnement). Après fermeture de la porte (6 tonnes pour 1,5 m d'épaisseur), les opérateurs peuvent faire remonter les sources, préalablement réparties sur un panneau porte-sources, jusque dans la cellule, via un canal passant sous le mur de 1,50 m d'épaisseur de celle-ci. L'irradiation cesse quand les sources redescendent en piscine.

<sup>4</sup> En dehors de l'irradiateur d'ARC-Nucléart à Grenoble, il existe un autre irradiateur dédié au traitement du patrimoine au musée de la Bohème à Rostoky, en Tchéquie. Des études et des traitements plus ou moins ponctuels sont proposés dans des irradiateurs dit « multi-usage » en Croatie et en Roumanie, dans des irradiateurs de recherche au Brésil, en Argentine, en Tunisie, et dans des irradiateurs industriels en Hollande, en Pologne, en Allemagne, en Angleterre, au Brésil, aux Etats-Unis, ... Des études sont aussi en cours en Italie, au Portugal, en Corée du Sud...

<sup>5</sup> Le gray (symbole Gy) est l'unité dérivée de dose absorbée du système international (SI) d'unités. Un gray représente l'énergie absorbée par un milieu homogène d'une masse d'un kg lorsqu'il est exposé à un rayonnement ionisant apportant une énergie d'un joule : 1 Gy = 1 J/kg. Le gray est notamment utilisé pour apprécier les effets physiques sur la matière irradiée ou les effets biologiques déterministes de fortes irradiations. Quand on veut évaluer les effets stochastiques de faibles doses, on utilise une autre unité dérivée, le sievert, de même dimension.

<sup>6</sup> Théoriquement, les traitements des microorganismes dont l'effet est statistique sur une grande population devraient être adaptés à la radio-résistance de chaque variété de microorganisme et à leur charge initiale, contrairement aux traitements insecticides qui visent des effets déterministes (systématiques) et qui sont donc à seuil. Dans la pratique, pour les espèces fongiques, une dose de 10 kGy permet le plus souvent une diminution de la population initiale des espèces les plus radio-résistantes d'un facteur de l'ordre de 100 000.

Les traitements bactéricides, peu fréquents pour le patrimoine, peuvent être comparés aux traitements de stérilisation médicale, et nécessitent des doses comparables, de l'ordre de 25 kGy. Pour référence, on rappelle que 4 à 5 Gy suffiraient généralement à causer la mort humaine.

Avec le rayonnement gamma, la technique est extrêmement simple, efficace et fiable. Grâce à son pouvoir de pénétration, elle permet de traiter de nombreux objets, même de grande taille et/ou conditionnés dans toute sorte d'emballage, en restant sûr d'en atteindre tout le volume. Elle ne produit bien évidemment aucune radioactivation et ne laisse aucune trace de son emploi (si ce n'est la mort des espèces vivantes ciblées). Elle présente très peu de réelles contre-indications.

Par contre, le traitement est uniquement curatif. Aucun effet préventif ne permet de garantir que les objets ne seront pas ré-infestés à l'issue du traitement. Le conservateur en charge des collections se doit donc, après traitement, d'organiser la conservation préventive, généralement via les conditions environnementales qu'il sera capable de garantir autour de celles-ci.

Avant d'entreprendre tout traitement par irradiation, il faut bien évidemment en avoir vérifié le niveau d'innocuité, et en particulier qu'il ne risque pas de remettre en cause l'intégrité des biens traités. Avec l'irradiation, on pourrait craindre en premier lieu des effets de radiolyse sur certains matériaux, qui pourraient par exemple devenir plus fragiles. Les matériaux cristallins ne sont peu ou pas concernés, mais les matériaux organiques sont plus ou moins sensibles, en fonction de la capacité à créer des scissions de chaîne par ionisation

Ainsi, la cellulose, qui est sans aucun doute le polymère naturel le plus commun, est réputée pour être chimiquement sensible au rayonnement. Des études déjà anciennes portant sur le papier comme matériel d'archive et de support graphique ont d'ailleurs confirmé qu'aux doses fongicides, on mesurait une légère dépolymérisation de celle-ci. Cela a conduit les autorités culturelles françaises à ne pas recommander l'usage de l'irradiation à des doses fongicides pour les collections contenant du papier (cette restriction ne s'applique toutefois pas aux doses insecticides).

Il y a pourtant un fort intérêt à traiter par irradiation le papier qui est particulièrement sensible non seulement aux insectes mais aussi aux champignons. En effet, jusqu'à maintenant, la seule méthode qui s'est montrée efficace contre les espèces fongiques tout en conservant un degré d'innocuité acceptable sur les matériaux cellulosiques est la fumigation à l'oxyde d'éthylène. Mais cette méthode tend à être très limitée réglementairement du fait des effets de ce produit sur la santé et sur l'environnement. Au final, le traitement par ionisation pourrait apparaître comme une alternative acceptable, et en tout cas moins invasive que les autres méthodes physiques et/ou chimiques de substitution, et moins dangereuse (pour les pièces qui nécessitent réellement un traitement) que de «ne rien faire».

Plus surprenant, l'irradiation peut paradoxalement provoquer une sorte de stabilisation. Arthur Charlesby, un pionnier de la chimie sous rayonnement, a découvert en 1952 que du polyéthylène irradié ne fondait plus à des températures pourtant significativement supérieures à sa température de fusion initiale, mais présentait l'élasticité du caoutchouc : une réaction de « réticulation », liant les macromolécules individuelles entre-elles, avait donné naissance à un réseau moléculaire très stable.

On rapporte que, alors qu'il s'attendait à une forte dégradation suite à l'irradiation, cette observation lui apparut tout simplement comme un miracle. Un tel type d'effet stabilisant pourrait avoir été observé sur le papier, la compilation d'anciennes études et de mesures récentes laissant entrevoir une possible amélioration des caractéristiques mécaniques après une irradiation à quelque kGy, avant que l'effet de dégradation se fasse sentir autour de la dizaine de kGy.

Quoiqu'il en soit, les effets restent très faibles. D'autres études mettent ainsi en perspective les études antérieures si bien que l'irradiation du papier est maintenant pratiquée dans de nombreux pays. Par exemple, l'ensemble des ouvrages de la bibliothèque du Palais de la Paix à La Haye, qui comprennent les ouvrages les plus anciens de droit international, ont ainsi été désinfectés à des doses de  $8 \pm 2$  kGy<sup>7</sup>.

Au final, les autres matières organiques naturelles d'intérêt pour notre patrimoine culturel que sont le bois, le cuir, les fibres textiles, etc., apparaissent moins sensibles aux rayonnements ionisants que la matière cellulosique pure. Le bois supporte des doses jusqu'à 100 kGy sans perte significative de ces propriétés mécaniques. Même si des études en laboratoire ont montré que les propriétés du collagène irradié à l'état hydraté sont légèrement affectées, le cuir, les peaux, les fourrures et les parchemins, à l'état sec, supportent des doses d'environ 20 à 30 kGy sans effets indésirables.

---

<sup>7</sup> 22 km de rayonnages ont été traités en 2006, incluant la plus vieille collection d'ouvrages de droit international au monde, dont l'importante collection des œuvres de Hugo Grotius (1583-1645), le père fondateur du droit international. L'ouvrage le plus ancien ainsi traité a été imprimé par Philippe Pigouchet en 1502.

Très peu de données sont disponibles pour le textile, mais il a été vérifié que les matériaux à base de protéine comme la laine ou la soie étaient moins sensibles que le coton ou le lin. Des études sont encore en cours pour les liants et les colles. Pour tous ces matériaux, une amorce de réticulation stabilisante pourrait être induite dans la gamme de quelques kGy à la dizaine de kGy, avant la dégradation physico-chimique significative qui n'est observée qu'à partir de dix à plusieurs centaines de kGy, selon les matériaux.

En dehors de l'intégrité physico-chimique susceptible d'avoir des conséquences sur le devenir « mécanique », le problème de l'apparence est lui aussi fondamental pour les objets du patrimoine. De ce point de vue, les matériaux transparents sont connus pour être particulièrement sensibles : ils foncent et/ou se teintent, pour la plupart, par effet d'activation de centres de couleur due aux excitations électroniques piégées au voisinage de certaines impuretés, et ce dès les doses relativement basses de désinsectisation. Ils constituent la seule vraie classe de matériaux pour laquelle les traitements par irradiation sont contre-indiqués, quelle que soit la dose.

On pourrait craindre de retrouver ce phénomène pour les vernis et les liants utilisés dans les peintures, et dont une fonction est de laisser transparaître la couleur des pigments qu'ils enrobent. Cependant, en pratique, les couches sont suffisamment fines pour que la transparence soit préservée. Les études et l'usage n'ont de fait jamais mis en évidence de changements de couleur décelables à l'œil nu sur les couches de polychromie de statuaire en bois, aux doses utilisées pour ces traitements. Les tests réalisés par de nombreuses équipes sur des pigments, qu'ils soient organiques ou minéraux, n'ont jamais fait craindre de problème non plus à ces doses.

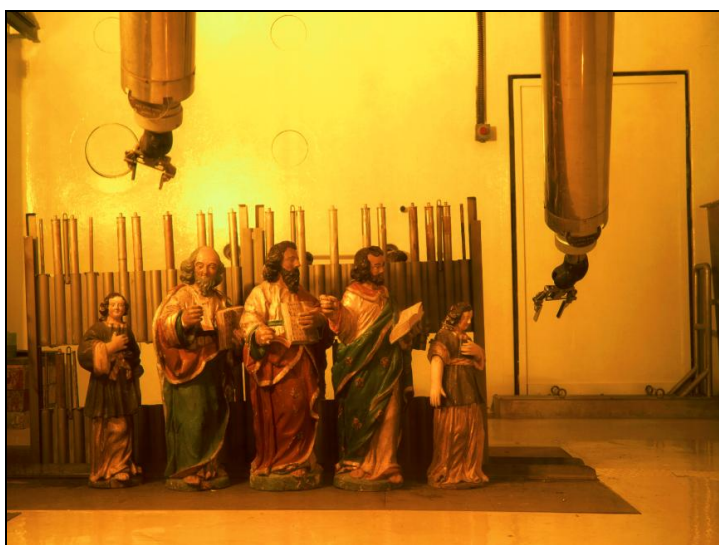


**Figure 3 :** Vérification du comportement sous irradiation de divers pigments liés à l'huile d'œillette, jusqu'à des doses très largement supérieures aux doses appliquées usuellement

À noter cependant qu'il n'en va pas forcément de même pour certains colorants. Si les doses relativement faibles de désinsectisation ne semblent pas dangereuses, les doses fongicides pourraient poser problème, comme cela peut être le cas d'ailleurs avec d'autres techniques de désinfestation concurrentes, dont l'anoxie (dont l'effet n'est cependant qu'insecticide).

Enfin, l'oxydation radio-induite peut dans de rares cas causer certains changements dans l'apparence comme des décolorations ou des jaunissements, à l'image de ceux causés par les UV. Un tel comportement a parfois été observé, principalement sur certaines matières organiques ou organo-minérales très pâles, pour les doses fongicides. Par exemple, des matériaux tels que l'os, l'ivoire ou la corne sont sensibles à 10 kGy quand ils sont très clairs, mais ne le sont plus s'ils sont déjà sombres et/ou oxydés.

Un autre type de caractéristique, souvent négligé, mais qui doit absolument être pris en compte, est le contenu informatif des éléments à traiter, et en particulier le contenu qui n'est accessible que par l'analyse scientifique. La composition élémentaire n'est bien sûr pas modifiée par l'irradiation. Cela signifie, par exemple, que la datation au radiocarbone ne sera pas affectée.



**Figure 4 :** Traitement de désinsectisation par irradiation gamma d'une série d'apôtres en bois polychromé

En revanche, la datation par radio-luminescence ne sera plus possible dès que la dose absorbée aura été entièrement modifiée par l'irradiation. Du fait que l'effet biocide est réputé lié aux dommages à l'ADN, l'information ADN est souvent considérée à tort comme perdue après traitement. On s'aperçoit pourtant qu'aux

doses utilisées, ces lésions restent en quantité a priori faibles devant la dégradation naturelle post mortem de l'ADN, et ne devraient pas altérer significativement l'information ADN disponible. L'irradiation de quatre momies inuites du site de Qilakitsoq au Groenland n'a posé manifestement aucun problème à l'équipe qui, 20 ans après ce traitement, a pu établir précisément, par analyse ADN, les liens de filiation entre les différentes momies.

Nous n'avons cependant pas idée de ce que nos successeurs seront capables de mettre en œuvre comme nouvelle méthode pour traiter ou caractériser notre patrimoine. Personne ne peut prétendre que l'irradiation est définitivement inoffensive, ni qu'à l'avenir, certaines propriétés qui pourraient intéresser les scientifiques n'auront pas été modifiées par un tel traitement, tout comme personne ne peut le dire à propos de tout autre traitement ...

Pour ces techniques, les demandes les plus fréquentes émanent des musées pour lesquels des collections complètes, entre autres des collections ethnographiques, peuvent être traitées. Les communautés locales sont aussi particulièrement intéressées pour le traitement du patrimoine religieux et tout particulièrement de statues en bois polychromés. Meubles, instruments de musique, spécimens de taxidermie, sont d'autres exemples d'objets traités autant pour le compte de particuliers, de professionnels ou d'institutionnels. En dehors du traitement des momies, particulièrement emblématique des possibilités offertes par ces techniques, le traitement bactéricide d'un bébé mammoth à l'état congelé<sup>8</sup> illustre lui aussi les potentialités du procédé.

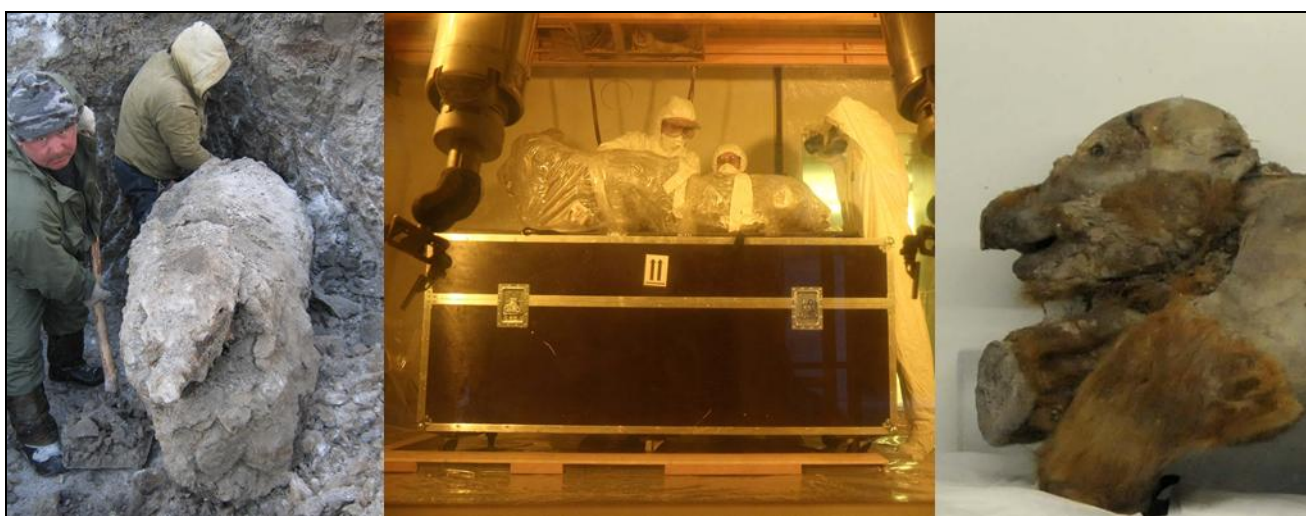


Figure 4 : Traitement sanitaire du bébé mammoth Khroma avant son exposition dans une vitrine à -18°C

Grace à ces méthodes, de l'ordre de la centaine de m<sup>3</sup> représentant des milliers d'objets en bois ou autres matériaux organiques sont traités chaque année dans l'atelier ARC-Nucléart et de par le monde, essentiellement pour désinsectisation.

### 3. LE DURCISSEMENT DE RÉSINE SOUS RAYONNEMENT UTILISÉ À DES FINS DE CONSOLIDATION

Pour effectuer une consolidation, le restaurateur utilise classiquement des polymères solides qu'il solvate pour obtenir un liquide et qu'il fait diffuser par un moyen ou un autre dans le volume à consolider. Ensuite, la solidification est simplement obtenue par l'évaporation du solvant, produisant un film mince solide sur la porosité. L'alternative est d'initier une réaction après imprégnation, solidifiant ainsi toute la matière imprégnée. On appelle ces techniques des consolidations par densification : toute la porosité étant comblée par le consolidant, leur conférant un caractère consolidant d'autant meilleur. Elles sont néanmoins en général irréversibles.

Quand la conservation exige une consolidation efficace via une densification dans l'ensemble du volume et jusqu'à la surface d'un objet, l'étape de solidification du polymère doit être particulièrement bien contrôlée. Pour s'assurer que le durcissement irréversible du polymère ne démarre pas avant que les objets aient été

<sup>8</sup> Trouvé en 2009 dans le pergélisol de Yakoutie, le bébé mammoth baptisé Khroma du nom de la rivière au bord de laquelle il a été trouvé présentait un état de conservation exceptionnel, en particulier au niveau de ses chairs. Potentiellement porteur de bacilles du type anthracis, son étude prévue en France par une équipe internationale au cours de l'été 2010 était conditionnée à un traitement bactéricide préalable. L'irradiation est très vite apparue comme la seule technique présentant à la fois la fiabilité et l'efficacité recherchée et le niveau d'innocuité nécessaire. La dose de 20 kGy lui a été appliquée en juillet 2010, à l'état congelé.

correctement imprégnés et nettoyés des excès en surface, l'étape de polymérisation peut avantageusement être contrôlée grâce à l'irradiation de résines radio-durcissables.

À ARC-Nucléart, les imprégnations du bois sont réalisées en autoclave, suivant les techniques d'imprégnation sous « vide / pression » en autoclave. La résine styrène polyester est imprégnée jusqu'à cœur et y est retenue par la capillarité du bois. Après en avoir essuyé soigneusement la surface, l'objet imprégné peut être irradié : la résine se polymérise par réticulation sous rayonnement, ce qui la durcit. Il faut une dose de 20 à 30 kGy pour obtenir une réticulation complète. Cette méthode qui est une spécialité d'ARC-Nucléart à Grenoble est connue comme la « méthode Nucléart ».

Ce traitement, tout pertinent et efficace qu'il soit, est particulièrement invasif. Comme pour toute imprégnation, l'apparence des éléments traités peut être plus ou moins modifiée en raison de l'effet de mouillage de la surface par la résine. Le styrène utilisé dans les résines peut aussi se révéler être solvant de certains liants, et dans le cas de pièces polychromées, il est nécessaire de tester la résistance des couches de peinture au styrène.

Même dans le cas où l'apparence de l'objet reste inchangée, ses propriétés physico-chimiques ne le restent évidemment pas. Le changement le plus évident est que le matériau « bois-plastique », dont l'objet est maintenant composé, est beaucoup plus lourd que le matériau d'origine. De plus, ces changements sont complètement irréversibles. L'emploi de cette technique doit donc être pleinement justifié.

Il est de fait limité aux cas où les propriétés mécaniques doivent être extrêmement renforcées. En pratique, ces justifications sont essentiellement liées soit à la volonté de préserver la fonction d'un objet (comme le cas d'un parquet sur lequel on veut continuer à marcher), soit à la mise en œuvre d'un traitement dit « de dernière chance », quand l'objet est trop dégradé au point que les traitements classiques n'ont plus d'efficacité.



**Figure 6** : Traitement de consolidation Nucléart « de la dernière chance » d'une statue représentant saint Vincent (Suzannecourt, XVIIIe siècle)

Ce traitement peut aussi être utilisé pour traiter les bois archéologiques gorgés d'eau. En effet, conservés directement sous eau ou en milieu saturé en humidité, donc en l'absence d'oxygène, ils auront été protégés des biodégradations. Mais ce séjour à l'état gorgé d'eau aura provoqué la perte de cellulose par hydrolyse. Ces bois ne supporteront donc plus un séchage normal à l'air libre qui entraînerait leur effondrement irréversible. Les traitements doivent donc en premier lieu éviter cet effondrement.

Pour adapter la méthode Nucléart, on sèche le bois par une lyophilisation, ce qui permet d'en conserver correctement les volumes. L'objet fragile et sec peut être alors imprégné de résine comme un objet poreux classique. La suite du traitement se fait par irradiation exactement comme la méthode Nucléart pourrait être menée avec du bois sec normal.

Les avantages de cette technique par rapport aux techniques classiques utilisant la diffusion de polymères solubles en milieu aqueux et un séchage contrôlé ou par lyophilisation, sont non seulement la très bonne consolidation, mais surtout de la stabilité du polymère ainsi radiopolymérisé. Elle est particulièrement adaptée quand il y a des risques de corrosion sur des parties métalliques associée au bois. Elle a été utilisée par

exemple sur la proue assemblée en bois et en métal d'un bateau romain en provenance de fouilles dans le Rhône à Arles<sup>9</sup>.



**Figure 6** : Installation de la proue de la barge Arles Rhône 3 en cellule d'irradiation et présentation de l'épave complète au musée de l'Arles antique

#### 4. SOURCES

- [1] Tassigny C. de, Brouqui M., *Radiostérilisation de la momie* ; dans Balout L., Roubet C. (ouvrage collectif sous la direction de), *La Momie de Ramsès II – Contribution scientifique à l'égyptologie*, Editions Recherche sur les Civilisations, Paris (1985).
- [2] R. Ramière, *La désinfection des biens culturels par irradiation gamma*, dans « Les contaminants biologiques des biens culturels », Muséum national d'histoire naturelle, Elsevier, Paris (2002).
- [3] Adamo M., Magaudda G., Tata A., *Radiation technology for Cultural Heritage Restoration*, *Restaurator* 25, (2004), pp. 159-170.
- [4] Katusin-Razem B., Razem D., Braun M., *Irradiation treatment for the protection and conservation of cultural heritage artefacts in Croatia*, *Radiation Physics and Chemistry*, 78, (2009), pp. 729–731.
- [5] Henri Bernard-Maugiron, Philippe de Viviers : *Arles-Rhône 3, un chaland gallo-romain du 1er s. après Jésus-Christ. - La restauration et le remontage du chaland*, *Archaeonautica*, n° 18, (2014), pp. 311-314.
- [6] IAEA, *Ionising radiation for tangible cultural heritage conservation*, IAEA Radiation Technology Series, à paraître 2<sup>nd</sup> semestre 2015.

<sup>9</sup> L'épave romaine dite Arles Rhône 3 longue de 31 m et large de 3 m, a été fouillée et prélevée durant l'été 2011. Découpé en 10 tronçons pour son prélèvement, eux-mêmes démantelés en 35 sous-ensembles pour le traitement par imprégnation de polyéthylène glycol et lyophilisation. Cependant, l'élément de proue, renforcé de part et d'autre par des parties métalliques, a fait exception et a été suivant la méthode « Nucléart ». L'épave est maintenant présentée dans son intégralité au musée de l'Arles antique.