



HAL
open science

Journée ICOM Métal France 2019

Silva Diana Da, Fardel Pierre Alain, Florescu Michaela, Laroche Florent,
Simonnin Michaela, Steib Olivier, Lambert Marie Pierre, Koch Nicolas,
Meziani Charlène Pelé, Rossetti Loretta, et al.

► **To cite this version:**

Silva Diana Da, Fardel Pierre Alain, Florescu Michaela, Laroche Florent, Simonnin Michaela, et al..
Journée ICOM Métal France 2019. Elodie Guilminot Arc'Antique, 2019. hal-03981025

HAL Id: hal-03981025

<https://hal.science/hal-03981025>

Submitted on 9 Feb 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ICOM Métal France 2019

Du métal au composite : la nécessité des multi-compétences pour travailler ensemble

Lieu : CAPC Musée d'Art Contemporain de Bordeaux

Le Jeudi 7 Février 2019



© Alexandra Malherbe / Bordeaux Métropole

Suzanne Treister, *Le vaisseau spatial*, Bordeaux, 2018

Organisation

- Arc'Antique : Elodie Guilminot
- CAPC : Anne Cadenet et Milena Paez Barbat
- INP : Anne Genachte - Le Bail
- Traces : Luc Robbiola

Table des matières

Programme de la Journée	5
Présentation 1	8
Diana Da Silva et Pierre Alain Fardel « <i>Œuvres contemporaines fonctionnelles : comment le rapprochement des compétences de l'ingénieur et celles du conservateur-restaurateur bénéficie à la connaissance et à la pérennisation des œuvres</i> »	
Présentation 2	12
Diana Da Silva « <i>Restauration du char Renault FT – 17 du musée de l'armée, pour une approche technique, industrielle et collaborative</i> »	
Présentation 3	18
Michaela Florescu, Camille Alembik, Diana Da Silva, Dalila Druenes, Ryma Hatahet, Anne Henry, Sylvain Bois, Agnès Mirambet-Paris, Laurent Rabier et Emilie Rouquié « <i>Collaboration et interdisciplinarité au service de la sauvegarde du patrimoine technique et industriel : retour d'expérience sur quelques projets récents au Musée d'Art et d'Industrie, au Musée de la Poste et au Musée de l'Air et de l'Espace</i> »	
Présentation 4	26
Florent Laroche et Michaele Simonnin « <i>De l'usage du numérique pour la valorisation patrimoniale du patrimoine industriel : une nécessaire interdisciplinarité. Histoire de la laverie à sel du Musée des marais salants à Batz-sur-Mer (44)</i> »	
Présentation 5	36
Olivier Steib « <i>Art et électricité : une collaboration nécessaire, de la Création à la Restauration de l'œuvre</i> »	
Présentation 6	42
Marie Pierre Lambert et Nicolas Koch « <i>Une lampe à 7 becs dans les collections gréco-romaine du Musée de l'Université de Lorraine</i> »	
Présentation 7	46
Loretta Rossetti et Charlène Pelé-Meziani « <i>Des compétences pluridisciplinaires au service de la compréhension des œuvres</i> »	
Présentation 8	52
Aurelia Azema, Lise Leroux, Ann Bourges, Eric Merlin, Bruno Demathelin et Camille Bretas « <i>La rose de la cathédrale de Soissons : apports des études matérielle et structurale à la compréhension de son histoire</i> »	

Table des matières

Présentation 9	64
Céline Remazeilles « <i>Conservation des assemblages bois-fer archéologiques gorgés d'eau : caractérisation des sulfures de fer dans une épave antique vieillie en milieu fluvial (Courbiac, Charente-Maritime)</i> »	
Présentation 10	74
Anne Cadenet, Milena Paez Barbat « <i>Bordeaux : musée d'art contemporain et nouvelles commandes artistiques dans l'espace public métropolitain - enjeux de conservation partagés</i> »	
Présentation 11	82
Eric Troussicot, François Chesnot, Alejandra Balboa « <i>Le vaisseau spatial de Suzanne Treister, témoignage à plusieurs voix sur la conception, production et postproduction d'une sculpture monumentale dans l'espace public et rôle du consultant en conservation préventive dans le cadre d'un projet pluridisciplinaire</i> »	
Poster 1	92
Naïma Gutknecht, Edith Joseph « <i>La stabilisation de la corrosion active des objets archéologiques en alliage cuivreux avec Beauveria bassiana</i> »	
Liste des intervenants	102
Liste des participants inscrits avant le 31/12/18	104
Contacts Organismes	106

Programme de la Journée

9H00-9H30 : Accueil des participants

9H30 Présentation de Diana Da Silva et Pierre Alain Fardel

Œuvres contemporaines fonctionnelles : comment le rapprochement des compétences de l'ingénieur et celles du conservateur-restaurateur bénéficient à la connaissance et à la pérennisation des œuvres

10H05 Présentation de Diana Da Silva

Restauration du char Renault FT – 17 du musée de l'armée, pour une approche technique, industrielle et collaborative

10H30 Présentation de Michaela Florescu

Co-auteurs : Camille Alembik, Diana Da Silva, Dalila Druenes, Ryma Hatahet, Anne Henry et/ou Sylvain Bois, Agnès Mirambet-Paris, Laurent Rabier, Emilie Rouquié

Collaboration et interdisciplinarité au service de la sauvegarde du patrimoine technique et industriel : retour d'expérience sur quelques projets récents au Musée d'Art et d'Industrie, au Musée de la Poste et au Musée de l'Air et de l'Espace

10H55 Présentation de Florent Laroche et Michaela Simonin

De l'usage du numérique pour la valorisation patrimoniale du patrimoine industriel : une nécessaire interdisciplinarité. Histoire de la laverie à sel du Musée des marais salants à Batz-sur-Mer (44)

11H30 Présentation d'Olivier Steib

Art et électricité : une collaboration nécessaire, de la Création à la Restauration de l'œuvre

12H-14H Pause Repas

14H Présentation de Marie Pierre Lambert et Nicolas Koch

Une lampe à 7 becs dans les collections gréco-romaine du Musée de l'Université de Lorraine

14H25 Présentation de Charlène Pelé-Meziani et Loretta Rossetti

Des compétences pluridisciplinaires au service de la compréhension des œuvres

14H50 Présentation d'Aurelia Azema

Co-auteurs : Lise Leroux, Ann Bourges, Eric Merlin, Bruno Demathelin, Camille Bretas

La rose de la cathédrale de Soissons : apports des études matérielle et structurale à la compréhension de son histoire

15H15 Présentation de Céline Remazeilles

Conservation des assemblages bois-fer archéologiques gorgés d'eau : caractérisation des sulfures de fer dans une épave antique vieillie en milieu fluvial (Courbiac, Charente-Maritime)

15H40 Pause

16H00 Présentation d'Anne Cadenet et Milena Paez Barbat

CAPC, musée d'art contemporain et nouvelles commandes artistiques dans l'espace public métropolitain : enjeux de conservation partagés

16H20 Présentation de François Chesnot, Alejandra Balboa, Eric Troussicot

Le vaisseau spatial de Suzanne Treister, témoignage à plusieurs voix sur la conception, production et postproduction d'une sculpture monumentale dans l'espace public et rôle du consultant en conservation préventive dans le cadre d'un projet pluridisciplinaire.

17H00-17H15 Questions, clôture de la journée

17H30 Visite commentée du Vaisseau spatial de Suzanne Treister aux Bassins à flot à Bordeaux

Posters :

Edith Joseph et Naïma Gutknecht « *La corrosion active sur les alliages cuivreux archéologiques - Évaluation de la stabilisation par bio passivation fongique* »

Michaela Florescu et al. « *Exemples de projets collaboratifs et interdisciplinaires sur le patrimoine technique et industriel* »




Articles

ŒUVRES CONTEMPORAINES FONCTIONNELLES : COMMENT LE RAPPROCHEMENT DES COMPÉTENCES DE L'INGÉNIEUR ET CELLES DU CONSERVATEUR-RESTAURATEUR BÉNÉFICIE À LA CONNAISSANCE ET À LA PÉRENNISATION DES ŒUVRES


Diana Da Silva

Diana Da Silva EURL, Conservateur-restaurateur indépendant spécialité métal

 atelier.dianadasilva@gmail.com

Pierre-Alain FARDEL

DEARTISSIGN, Ingénieur diplômé au service du patrimoine

 pierrealain.fardel@deartissign.fr

Résumé étendu

Les compétences du conservateur-restaurateur, au-delà de son domaine de spécialisation par matériau, s'étendent à divers et variables degrés de perfectionnement et de professionnalisation dans un ou plusieurs champs connexes à la conservation-restauration ; que ce soit par goût, ou fonction de la sensibilité propre de chacun d'eux, de leurs parcours et de leurs orientations. Certains se perfectionnent en électrification, en soclage, ou en horlogerie tandis que d'autres s'orientent vers la recherche. L'individualité de chaque conservateur-restaurateur, cette culture professionnelle qui est propre à chacun d'eux, explique et cultive en partie, l'image d'une identité professionnelle aux multiples facettes.

C'est ainsi, qu'au sein d'un même domaine de spécialisation par matériau, on constate qu'il existe un premier degré de complémentarité lié à l'interdépendance des conservateurs-restaurateurs d'une même spécialité : l'un, particulièrement compétent dans le domaine des revêtements de surface par exemple pourra avantageusement s'associer à un autre, plus expérimenté dans les interventions structurelles afin de répondre au mieux à un objectif de traitement donné. Tous ont en commun une méthodologie et un objectif qui est la pérennisation du patrimoine. Nous pouvons comprendre cette forme d'association comme étant un premier niveau de multi-compétences au sein de l'entité « conservation-restauration ». Le deuxième niveau se situerait à l'échelle de l'organisation en groupement multidisciplinaire entre conservateurs-restaurateurs de différentes spécialités où, là encore, une méthodologie commune avec des objectifs communs restent partagés.

L'identité du conservateur-restaurateur nous apparaît donc comme multiple, et de fait pas toujours facilement définissable dans un cadre délimité, d'autant plus que nous évoluons dans un environnement institutionnel et patrimonial lui-même en constante évolution. Le noyau de notre identité est notre formation et le diplôme qui s'en suit. Il constitue notre tronc commun ; à partir de celui-ci des ramifications se développent et sont autant de branches que d'individualités professionnelles. Cette réalité se retrouve chez les ingénieurs ainsi que probablement dans d'autres corps professionnels.

En effet, les formations d'ingénieur donnent des bases techniques dans de nombreux domaines, avec selon les cas, une spécialisation plus ou moins marquée pour un domaine technique ou une fonction (recherche et développement, production, qualité, sécurité,...). Elles possèdent également un tronc commun fort, qui permet aux ingénieurs, au-delà de leurs connaissances techniques, de créer, de concevoir, d'innover et de traiter les cas de figure complexes associés à ces activités. En complément de la formation initiale, c'est bien entendu également

l'expérience, la sensibilité, et la curiosité propre de chaque individu, qui va l'amener à élargir ses connaissances, et son aptitude technique.

L'origine du mot ingénieur, désigne en ancien français, l'ouvrier au sens noble, concepteur et réalisateur de son propre travail. La capacité singulière qu'a l'ingénieur à réaliser, découle de l'exploitation de ses connaissances techniques dans l'interprétation et l'anticipation de ses actions sur la matière, ce qui est un atout formidable pour acquérir et développer des savoir-faire techniques, si tant est que sa sensibilité propre lui fasse aller dans cette direction.

Les domaines de compétence de l'ingénieur, comme du restaurateur ont leurs limites, ce qui suppose la création de ponts entre disciplines, et en l'occurrence entre le conservateur-restaurateur et l'ingénieur.

La réussite de collaborations telles que celle-ci, repose notamment sur la capacité des interlocuteurs concernés à avoir au préalable développé des compétences connexes à leur formation initiale, qui leur permettront d'avoir au minimum, les bases d'un langage commun.

Ainsi, lors d'une collaboration récente, sur une œuvre de Takis, exploitant deux transformateurs électriques et un bulbe à vapeur de mercure. Un jaunissement important était observable à l'intérieur de l'œuvre. Le rapprochement des deux compétences, a permis d'identifier ce jaunissement comme une probable condensation des vapeurs émises par les résines d'imprégnation des circuits magnétiques des transformateurs, qui, en fonctionnement, montent en température et libèrent des vapeurs. La convection naturelle de l'air échauffé au contact des transformateurs, emmène ces vapeurs. L'air, qui se refroidit ensuite, provoque une condensation des vapeurs sur les surfaces environnantes, expliquant au fil des heures et semaines de fonctionnement, le voile jaune observé.

Ce cas montre, que le conservateur-restaurateur qui ne reconnaît pas ses propres limites, et donc l'expertise des autres acteurs, risque de passer à côté d'une connaissance de l'œuvre plus complète, souvent utile pour interpréter avec justesse l'état physique de l'œuvre et orienter les décisions d'intervention.

L'expertise de l'ingénieur s'avère en effet particulièrement pertinente en ce qui concerne le patrimoine technique et certaines œuvres d'art contemporain, qui ont en commun la présence d'un « dispositif technique ».

Dans le cas d'une œuvre d'art contemporain présentant un fonctionnement, le dispositif technique agit comme un transformateur particulier, qui convertirait l'énergie que lui apporte, en général l'électricité, en émotion ressentie par les spectateurs. Cette émotion naît de la mise en scène construite par l'artiste, conjuguant ses choix de forme, de couleur, et de texture avec les mouvements, effets lumineux, thermiques ou sonores permis par l'utilisation de l'électricité. A ce titre, cette typologie d'œuvre acquiert de fait un double statut d'œuvre et d'objet technique, liés indissociablement par l'intention créatrice de l'artiste.

Le dispositif technique doit donc être pris en compte au même niveau d'expertise que la matérialité de l'œuvre. Les outils et méthodes du conservateur-restaurateur tels que les constats d'état, les interventions de restauration sur la matière, et la conservation préventive, méritent largement d'être complétés par des outils provenant du monde de l'ingénierie, spécifiquement adaptés à prendre en compte la composante technique de l'œuvre, à savoir le constat d'état fonctionnel, le diagnostic fonctionnel, les caractéristiques fonctionnelles essentielles, la restauration fonctionnelle et le plan de maintenance préventive. Il est intéressant à ce stade de noter que la méthodologie de l'approche est très similaire, même si les contenus et compétences mises en œuvre peuvent être radicalement différents. Les deux approches doivent être mises en cohérence ; d'autant plus lorsque la technique de l'œuvre est mise en scène, elle devient dans ce cas indissociable de la matérialité de l'œuvre. C'est de manière évidente le cas des œuvres utilisant par exemple des néons ou des afficheurs à panneau de leds, qui sont des composants techniques tout en participant de la matérialité de l'œuvre.

L'existence d'un état de référence et la recherche de sa pérennisation prennent également tout leur sens dans le cas d'une œuvre intégrant un dispositif technique en fonctionnement. La capacité à maintenir durablement un fonctionnement qui correspond au fonctionnement de référence caractéristique de l'œuvre sera alors aussi im-

portante que la préservation de sa matérialité. Ce fonctionnement de référence doit donc, de manière similaire à l'état de référence matériel, être décrit et consigné dans le dossier d'œuvre. S'il en est absent, une démarche de mesure et de description des caractéristiques fonctionnelles essentielles doit être menée pour établir les caractéristiques mécaniques, électriques, optiques et temporelles décrivant le fonctionnement présent de l'œuvre, qui en l'absence d'autres données, pourra être utilisé comme point de référence. La nature de ces caractéristiques fonctionnelles essentielles dépend fortement des composants utilisés et de la manière dont ils contribuent individuellement au résultat produit par le fonctionnement de l'œuvre. Ainsi, leur identification nécessite une compréhension technique d'ensemble de l'œuvre, et la mise en œuvre d'outils de mesure adaptés à la détermination des caractéristiques fonctionnelles essentielles identifiées. Cette étape est cruciale pour pouvoir pérenniser l'œuvre dans son fonctionnement, mais également pour pouvoir établir un protocole de restauration fonctionnelle, ou gérer une panne ou un sinistre à venir, sans prendre le risque de dénaturer progressivement le fonctionnement.

La stabilisation de ce fonctionnement et la limitation de l'usure de l'œuvre passe alors par un plan de maintenance préventive. Il peut être complété par l'usage de dispositifs permettant d'adapter la durée de fonctionnement. Dans tous les cas, ces dispositions sont à adapter spécifiquement à la réalité technique de l'œuvre.

La sécurité de l'œuvre est une préoccupation commune au conservateur-restaurateur et à l'ingénieur. En tant que dispositifs techniques animés par l'électricité, les œuvres sous tension doivent faire l'objet d'un audit technique précis et systématique, qui est partie intégrante du diagnostic fonctionnel, et qui comprendra une vérification de la sécurité de l'œuvre vis-à-vis d'elle-même, comme vis-à-vis des individus. Le traitement des risques de sécurité avérés est incontournable, mais la méthode de traitement dépendra à la fois des particularités de l'œuvre et de son dispositif de présentation muséal.

L'exposition et l'accrochage revêtent également quelques spécificités, notamment dans le cas particulier des installations pour lesquelles l'établissement d'un protocole d'installation clair et précis, anticipant les risques pour l'œuvre et pour les personnels chargés de son installation est nécessaire. Cela est d'autant plus vrai pour les installations utilisant des néons, qui sont à la fois des pièces fragiles et dangereuses en raison de leur alimentation en haute tension. Les installations vidéo ou électroniques peuvent également s'avérer complexes si le câblage et les réglages ou commandes à réaliser lors de la mise en service ne sont pas précisément décrites dans le protocole d'installation.


Les méthodes d'analyse et de prise en compte des œuvres d'art contemporain intégrant un fonctionnement sont donc finalement très similaires dans leur méthodologie entre l'approche conservateur-restaurateur et l'approche de l'ingénieur. Les analyses et conclusions produites ainsi que les compétences nécessaires sont toutefois très différentes mais sont au final remarquablement complémentaires, et toutes deux nécessaires pour définir les interventions et pérenniser, sans les dénaturer, les biens patrimoniaux comportant un dispositif technique. Ceci est principalement vrai dans le cas des œuvres d'art contemporain intégrant un fonctionnement, et s'applique également dans une moindre mesure au patrimoine technique et industriel, pour lequel le fonctionnement, qu'il soit ou non pérennisé, est à l'origine de l'existence de l'objet patrimonial.

Le rôle central du conservateur-restaurateur au cœur des échanges avec les conservateurs, les scientifiques, est souvent évoqué, mais ne serait-ce pas une vision auto-centrée qui limiterait l'amplitude du champ de réflexion et le rôle des différents acteurs qui peuvent graviter autour d'un projet de conservation-restauration ?

RESTAURATION DU CHAR RENAULT FT - 17 DU MUSÉE DE L'ARMÉE, POUR UNE APPROCHE TECHNIQUE, INDUSTRIELLE ET COLLABORATIVE

Diana Da Silva

Diana Da Silva EURL, Conservateur-restaurateur indépendant spécialité métal

 atelier.dianadasilva@gmail.com

La pluridisciplinarité peut s'entendre comme le rapprochement de professionnels issus de milieux divers en dehors du cercle déjà étendu des acteurs du patrimoine. C'est ce qui se pratique de façon plus ou moins collaborative dans certains chantiers de restauration Monuments Historiques par exemple. Le cas qui est présenté ici aborde l'une des deux collaborations, étroites, qui ont largement contribué à la restauration du char Renault FT-17 exposé au Musée de l'Armée de Paris.

Le char Renault FT-17, numéro de série 73523, conservé depuis 1975 au Musée de l'Armée a été produit à plus de 3000 exemplaires. Il a été conçu par Louis Renault afin de répondre à un besoin militaire de char plus léger et plus maniable. Engagé dès la fin mai 1918, le char est une grande réussite technique et contribue au succès des offensives du maréchal Foch au second semestre 1918. Il est l'un des outils majeurs de la victoire et constitue le premier véritable char de combat moderne.

Il mesure 4,95 m de long par 1,74 m de large, 2,14 m de haut et pèse 6,7 tonnes.

En 1974, avant sa présentation au musée, l'Établissement de Réserve Générale du matériel / Engins Blindés (ERGM/EB) de Gien se charge de la remise en état du char. La tourelle-mitrailleuse d'origine est remplacée par une tourelle canon et l'ensemble du char a été repeint à cette occasion. Aucune documentation d'intervention n'a été conservée et les teintes alors choisies sont peu probablement issues d'une réalité historique.

Après la campagne de restauration, le char a donc été transféré au Musée de l'Armée dans la cour de l'Hôtel National des Invalides, où il est exposé depuis 1975.

En 2018, il fait l'objet d'une demande d'intervention en conservation-restauration.

L'état de conservation était alors « préoccupant ». Le char présentait des surfaces encrassées : dépôts gras internes, encrassements et poussières non adhérentes externes. Des corrosions s'étaient développées de façon généralisée sur les zones de lacunes de peintures, mais aussi par piqûres sous le revêtement peint. Des corrosions feuilletantes se développaient dans les zones de confinement. Les nombreuses hétérogénéités de l'aspect de surface et notamment du revêtement peint, datant de la rénovation des années 70, entraient en contradiction avec les attentes militaires qui sont celles d'un matériel entretenu, net et conforme¹. Les surfaces présentaient des zones de peinture lacunaire et usée, piquée par la corrosion, écaillée, globalement farinante et poreuse, avec un aspect poudreux et mat du film (lié aux effets combinés de l'érosion et des UV mais également au vieillissement naturel de la peinture). De plus, un contraste assez fort aggravait cet état déjà perturbé entre les zones horizontales et verticales ; la tourelle était devenue particulièrement peu lisible.

Le char avait pour problématique majeure l'important volume de surfaces à traiter en considérant la cabine de pilotage, les chenilles et le compartiment moteur qui sont autant de zones d'accès difficile et de confinement.

Afin de rendre toutes ces surfaces propres et débarrassées des dépôts divers accumulés depuis les années 70, il a été proposé de procéder par nettoyage cryogénique. Il consiste à projeter des particules de CO₂ solides grâce à un flux d'air comprimé. Les particules de glace carbonique, également appelées pellets, sont constituées de dioxyde de carbone à l'état solide, à une température de -78°C.

1. Le Musée de l'Armée abrite des services du Ministère de la Défense et accueille les cérémonies d'hommages nationaux et militaires.

Cette technique semblait être un bon compromis de traitement en cohérence avec la configuration de l'objet (anfractuosités, zones difficilement accessibles, volumes complexes).

Tout d'abord parce qu'elle permet un nettoyage doux et sélectif, non destructif et respectueux de l'aspect de surface existant, si les paramètres de réglage sont adaptés.

À cela, s'ajoute qu'elle permet un nettoyage plus rapide relativement à l'étendue des surfaces, hors temps d'installation, de manutentions, de réglages, de définitions des protocoles et de post nettoyage. L'autre aspect intéressant pour notre cas, est le fait qu'elle ne laisse aucun résidu supplémentaire qui aurait nécessité un complément de nettoyage par : évacuation de l'eau résiduelle dans le cas d'un nettoyage à l'eau sous pression, ou évacuation des abrasifs résiduels dans le cas d'un nettoyage par projection d'abrasifs ; avantages d'autant plus intéressants si nous considérons les caractéristiques volumétriques de l'objet qui comporte de nombreuses zones de confinement et de rétention.

Pour les aspects purement logistiques, il est intéressant d'ajouter qu'aucun dispositif de confinement en amont ou de gestion des déchets en aval n'est nécessaire : aucun besoin de construire une cabine étanche ou d'évacuer les déchets générés.

Cette technique de nettoyage, facilitatrice dans ce cas particulier pour toutes les raisons pré citées n'aurait pu être mise en œuvre sans le partenariat avec un prestataire professionnel du nettoyage cryogénique. Il offrait la possibilité d'intervenir avec des machines adaptées au volume de l'objet, c'est-à-dire avec un compresseur de 3000 L, un réservoir de machine de projection de 45 kg, mais aussi dans un contexte logistique largement simplifié concernant les pellets notamment. Il est à noter que la logistique de la cryogénie est contraignante et peut être un réel frein à sa mise en œuvre par des restaurateurs indépendants (matériel volumineux à transporter, aucune souplesse dans la gestion du consommable).

Dans cette opération, l'entreprise spécialisée a eu le rôle de référent technique et logistique et le conservateur - restaurateur celui d'opérateur en suivant la méthodologie propre à sa discipline.

Cette opportunité, qui s'est jouée dans une relation de confiance mutuelle, est consécutive d'une première collaboration à l'occasion d'une intervention sur une œuvre en musée. Elle avait alors pu se faire dans un climat expérimental puisque l'entreprise spécialisée n'avait jamais travaillé sur du patrimoine et l'intervenant conservateur-restaurateur jamais pratiqué ce type de nettoyage. Il fallait donc trouver un terrain d'échanges et de compréhension mutuelle ; un langage commun.

Le rôle médiateur du conservateur-restaurateur, en tant que « porteur du besoin », a été essentiel dans un cas comme celui-ci pour faire face aux méthodes différentes voire antinomiques des deux interlocuteurs dans la manière d'aborder l'œuvre.

L'objectif de ce « moment collaboratif » - dans le sens qu'il ne s'agissait pas d'une collaboration au long cours mais ponctuelle - était alors pour le conservateur-restaurateur de suggérer à l'entreprise opératrice la pondération, en ayant pour point focal la préservation matérielle de l'œuvre ; face à une pratique de l'entreprise enracinée dans le traitement de masse où la notion de qualité d'exécution se place au même niveau que le besoin d'efficacité et de rendement.

Le travail collaboratif qui s'est initié ici entre l'entreprise spécialisée et le conservateur-restaurateur a demandé du temps pour s'accorder. Son résultat a été dépendant également de l'investissement de ces deux acteurs dans la collaboration, et bien sûr de leurs compétences (techniques et relationnelles).

Les facteurs de réussite d'une telle collaboration sont multiples et interdépendants ; ils œuvrent vers un intérêt majeur, celui de lier l'expertise, les capacités de réflexion et les sens, associés à chaque métiers pour *in fine* donner le meilleur, sans limite artificielle de « statut » ni de « métier ».

Cette expérience montre qu'une collaboration positive passe par un positionnement d'écoute mutuelle au sens large, qui comprend l'accueil des positionnements et des points de vue mais de façon symétrique entre les deux acteurs. Cette notion de réciprocité favorise une communication plus libre, sans limite imposée par une forme de contrainte venant du « sachant » et une forme d'acceptation venant du néophyte. L'écoute mutuelle et sincère semble être le fondement d'une compréhension mutuelle du sujet à traiter, permettant la mise en place de bonnes conditions de réalisation du travail.

Ce travail collaboratif initié ayant donné des résultats positifs dans l'exécution de la prestation tout autant qu'humainement, a été d'autant plus aisé à développer pour d'autres cas dans un climat de confiance, de connaissance accrue, de part et d'autre et de compréhension des attentes mutuelles. La fluidité dans la communication et la gestion des aspects pratiques n'en a été que grandissante.

La restauration du char a offert l'opportunité d'une nouvelle collaboration, qui s'est confrontée au patrimoine technique cette fois, par opposition à l'œuvre d'art comme sujet. Le char Renault FT-17 est un objet qui fait partie de la mémoire technique de nos sociétés, relevant du domaine militaire. Il est porteur d'une fonctionnalité et d'un usage plus ou moins intensif, et est marqué par différentes phases d'utilisation, comprenant de nombreuses modifications en usage (entretiens et réparations). Son entrée au musée n'est pas toujours assimilée comme devant s'accompagner de l'interruption de son utilisation (réparations entretiens) pour mettre en place de nouvelles pratiques.

Ce statut particulier associé à la robustesse incarnée et imagée de l'objet (mémoire collective de l'objet militaire et plus spécialement du char blindé) nécessitait un soin particulier de sensibilisation quant à la fragilité moins perceptible de l'objet tel qu'il est arrivé jusqu'à nous.

Au stade de la demande de devis, la pertinence du choix de la technique cryogénique a été abordée avec l'entreprise. Elle a été mise en balance avec sa propre expérience sur des métaux peints, quoi que plus récents, et le ressenti du conservateur-restaurateur sur la fragilité de la matière et de ses revêtements. La décision a été consécutive d'un aller voir de l'état de l'objet par l'entreprise spécialisée.

La technique ayant été jugée communément réalisable et pertinente, elle a été proposée puis validée par le Musée de l'Armée.

Pour la mise en œuvre, il fallait accorder les plannings de l'entreprise et du conservateur-restaurateur indépendant afin d'être compatibles avec des aspects logistiques liés à la commande puis à la conservation de la glace. Les aspects logistiques ont été entièrement gérés par l'entreprise qui a fait fonctionner son propre circuit fournisseur : commande, chargement, livraison, déchargement des consommables, livraison d'un compresseur et de la machine de projection dimensionnés, des flexibles et des buses, assistance à l'installation, reprise et retour du matériel.

Dans ce cadre logistique, la collaboration entreprise / conservateur-restaurateur s'est axée sur la question de la durée du traitement et de la quantité de pellets nécessaires.

La durée de traitement a été calculée sur la base des conseils et du retour d'expérience de l'entreprise spécialisée en fonction de l'étendue de la surface à traiter, additionnés des réserves émises par le conservateur-restaurateur qui raisonne en fonction de l'état matériel de l'objet et inclut les variables qui découlent de cet état (temps d'ajustements suivant la diversité des surfaces altérées).

Concernant la quantité de pellets consommés et étant donné qu'elle dépend de la pression de travail, du débit et de la buse utilisée, l'estimatif de l'entreprise pouvait être faussé, puisque les paramètres de réglages allaient probablement être différents et variés en fonction des états de surface. Une quantité trop importante aurait conduit à une perte nette (pas de conservation possible, matériau coûteux), et en quantité trop faible, elle n'aurait pas permis de finir le traitement. Aussi, compte tenu du peu de souplesse qu'offre la mise en œuvre de cette technique, les conséquences logistiques et les coûts associés au manque de consommables sont considérables d'autant plus qu'elles n'impliquent pas le seul conservateur-restaurateur mais toute l'entreprise spécialisée dans l'organisation de son activité et dans la gestion de ses propres ressources.

Au-delà de ces aspects logistiques, la collaboration s'est poursuivie dans l'exécution du travail en lui-même avec des allers-retours entre l'expertise spécialisée de l'entreprise et celle plus transversale du conservateur-restaurateur opérateur, exécutant la prestation. Les essais préalables ont été menés conjointement, initiés par l'expérience de l'entreprise, validés ou invalidés par le regard du conservateur-restaurateur posé sur la matière et porteur du besoin exprimé par le musée.

Le conservateur-restaurateur a défini des zones de test en fonction de différents aspects de surface : une zone d'encrassement faible avec une couche picturale bien préservée, une deuxième zone d'encrassement important, avec des dépôts et accumulations, une corrosion étendue et localement des craquelures et des écaillages des peintures, une troisième zone de peinture altérée, piquée par la corrosion mais encore adhérente. Une quatrième zone de peinture vieillie, blanchie, poreuse, avec de nombreuses lacunes localisées et enfin, une dernière zone de dépôts gras très encollés de plusieurs millimètres d'épaisseur. Sur cette hiérarchisation, l'entreprise a pu donner son point de vue sur les paramètres de réglage. Ces derniers prennent en compte le type de buse², la pression, le débit ; chacun de ces paramètres ayant des conséquences sur les trois effets physique du nettoyage : l'effet cinétique, le choc thermique et l'effet de sublimation.

La combinaison multiple des différents paramètres de réglage (comparativement aux paramètres de réglage d'une sableuse par exemple) devait être suffisamment maîtrisée pour obtenir le résultat escompté sur les différentes surfaces. Elle devait également considérer, pour mieux les écarter, certains effets nuisibles du point de vue du conservateur-restaurateur comme la condensation en surface et la vapeur de gaz rendant parfois les conséquences du geste peu visibles.

Ces aspects mis en place, il a été possible au conservateur-restaurateur de procéder au nettoyage en ayant un niveau de connaissance supplémentaire, au profit de la restauration du char Renault FT-17.

Cet exemple de cheminement avec cette entreprise montre qu'en collaborant, au stade de la mise en place du projet, avec un investissement fort de part et d'autre, il est possible de générer une connaissance réelle d'une technique mais aussi du périmètre de mise en œuvre de cette technique de façon plus élargie. Il devient alors possible de travailler dans un environnement serein et maîtrisé, notamment dans ce domaine nouveau (et plein d'avenir) qu'est la cryogénie.

Il m'importe de conclure que, loin des clichés associés à l'industrie ou même à l'artisanat, d'incompréhension réciproque avec la conservation-restauration, nous gagnons à explorer les domaines autres de façon à faire évoluer nos pratiques vers toujours plus d'innovation au bénéfice de notre patrimoine.

2. Une buse plate large et fine, une buse plate plus étroite et plus épaisse, une buse coudée, ou encore la buse concasseuse, étant elle-même réglable suivant trois positions.



Remerciements

Pour terminer, je souhaite adresser mes vifs remerciements au Musée de l'Armée pour leur confiance et pour m'avoir permis de mettre en œuvre le nettoyage cryogénique sur le char. Mes remerciements vont également au groupe ARQUUS, mécène sur cette opération.

COLLABORATION ET INTERDISCIPLINARITÉ AU SERVICE DE LA SAUVEGARDE DU PATRIMOINE TECHNIQUE ET INDUSTRIEL : RETOUR D'EXPÉRIENCE SUR QUELQUES PROJETS RÉCENTS AU MUSÉE D'ART ET D'INDUSTRIE, AU MUSÉE DE LA POSTE ET AU MUSÉE DE L'AIR ET DE L'ESPACE

Michaela Florescu

Conservatrice-restauratrice du patrimoine métallique, indépendante



michaela.florescu@gmail.com

Camille Alembik, Conservatrice-restauratrice de matériaux organiques, conservation préventive, indépendante

Sylvain Bois, Attaché de conservation du patrimoine, Musée d'Art et d'Industrie de Saint-Etienne

Diana Da Silva, Conservatrice-restauratrice du patrimoine métallique, indépendante

Dalila Druenes, Conservatrice-restauratrice de couche picturale, indépendante

Ryma Hatahet, Restauratrice du patrimoine métallique et horlogère, indépendante

Anne Henry, Régisseur de la collection Cycles, Musée d'Art et d'Industrie de Saint Etienne

Agnès Mirambet, Conservateur en chef du Patrimoine, Directrice du Patrimoine et des expositions, Musée de La Poste

Laurent Rabier, Responsable des collections d'aéronefs et de toiles d'aéronefs, Musée de l'Air et de l'Espace

Emilie Rouquié, Conservatrice-restauratrice du patrimoine métallique, indépendante

Les collections techniques et industrielles constituent un type de patrimoine qui englobe des objets et des œuvres de nature très variée. Les projets évoqués dans cet article concernent des collections appartenant à trois institutions, le Musée de l'Air et de l'Espace (Le Bourget), le Musée de la Poste (Paris) et le Musée d'Art et d'Industrie (Saint-Etienne), et qui illustrent cette diversité : machines, art postal, aéronefs, moteurs d'avions, cycles, toutes ces collections datant de la fin du 19^e siècle à la fin du 20^e siècle.

Ces projets ont été menés systématiquement en équipe, avec les conservatrices-restauratrices co-auteurs de cet article. Ces équipes étaient cependant à géométrie variable, notamment en raison du contexte d'exercice de la profession (contexte commercial avec une forte dimension concurrentielle), qui crée une relation particulière, aussi bien entre les conservateurs-restaurateurs que vis-à-vis des commanditaires. Dans tous les cas, nous avons souhaité maintenir un contexte de discussion ouverte, permettant d'aboutir à une mise en œuvre constructive des différents projets.

Quelques spécificités du patrimoine technique et industriel

De nombreuses publications s'attachent à mettre en évidence les particularités des collections liées au patrimoine technique et industriel. La récente journée d'étude organisée en novembre 2018 à l'Institut national du patrimoine, « *Quels nouveaux défis pour la valorisation du patrimoine scientifique, technique et industriel ?* », a permis de rappeler certaines des caractéristiques fondamentales de ce patrimoine.

Il s'agit d'un patrimoine aux identités multiples, porteur de plusieurs discours simultanés : un objet ou une collection technique peut illustrer en même temps une dimension purement technique, faire écho à un contexte social ou sociétal, représenter l'histoire du travail ou d'un mode de production ou bien d'autres aspects encore. On peut également souligner que les objets constituant les collections de patrimoine technique et industriel ont connu un changement de statut, en passant, dans un cadre temporel relativement récent, d'une vie d'usage à la patrimonialisation, ce qui a modifié la manière dont elles sont perçues.

Ces différentes facettes constituent une identité oscillant entre deux pôles opposés, du patrimoine vivant vers le patrimoine de mémoire. Dans le premier cas, les collections techniques et industrielles considérées comme patrimoine vivant, ce qui est mis en avant est la capacité de ces collections à être le support de savoir-faire. Cette perspective induit que ces collections peuvent connaître des évolutions liées à leur fonctionnalité, y compris après leur entrée dans les collections patrimoniales, évolutions qui sont acceptées, voire souhaitées selon les cas. A l'inverse, lorsque l'on considère le patrimoine technique et industriel comme un patrimoine de mémoire, on privilégie alors la nature documentaire de ces collections, qui deviennent la référence d'un état ou d'un monde disparu.

Plusieurs chartes et textes de référence se focalisent sur chacun de ces deux aspects, qui ne sont jamais complètement dissociés l'un de l'autre, mais plutôt mis en avant préférentiellement selon le contexte.

Les chartes de référence pour le patrimoine des transports¹⁻³ font état de la priorité donnée au fonctionnement des collections, en tant que support de la transmission de savoir-faire, aussi bien en termes de fabrication que d'utilisation.

A titre d'exemple, les mentions suivantes, figurant dans la *Charte de Turin*, illustrent ces priorités :

« Article 1. Objectif. [...] Pour comprendre, apprécier et assurer la préservation et le fonctionnement des véhicules historiques, y compris leur utilisation sur la voie publique [...] »

« Article 2. Futur. Nous avons également pour aspiration de préserver le savoir particulier, l'expertise et les compétences liés à la fabrication et au fonctionnement de tels véhicules. »

« Article 3. Entretien. Un entretien durable et permanent des véhicules historiques est essentiel pour la survie des véhicules historiques. Leur utilisation, y compris sur la voie publique, est importante pour leur préservation. C'est la seule manière de comprendre entièrement le savoir traditionnel de la conduite, de le maintenir et de le transmettre aux futures générations. »

« Article 4. Fonction. Il est important et préférable que [les véhicules historiques] soient utilisés. Cependant, pour pouvoir les conduire, les véhicules historiques ne doivent pas être altérés plus que nécessaire. »

Au contraire de cette position, les documents de référence de l'ICOM (International Council of Museums) et de l'ECCO (European Confederation of Conservator-Restorers' Organisations) soulignent la nature documentaire des collections. Ainsi, le *Code of Ethics* de l'ICOM (Copenhague, 1984) souligne cet aspect :

« 3.1. Le conservateur-restaurateur a une responsabilité particulière en ce que le traitement est effectué sur des originaux irremplaçables, souvent uniques et d'une grande valeur [...]. La valeur de ces objets réside dans le caractère de leur fabrication, dans leurs preuves en tant que documents historiques et, par conséquent, dans leur authenticité. »

« 3.2. La qualité documentaire de l'objet historique est la base de la recherche [...]. »

« 3.4. Le conservateur-restaurateur doit être conscient de la nature documentaire d'un objet. »

1. *Charte de Barcelone*, charte européenne sur la conservation et la restauration de navires anciens en état de naviguer, 2003

2. *Charte de Riga*, charte européenne pour la conservation et la restauration des chemins de fer historiques en activité, 2012

3. *Charte de Turin*, charte adoptée par la Fédération Internationale des Véhicules Anciens, 2015

Au-delà des considérations liées à leur identité et leur statut, les collections du patrimoine technique et industriel sont également des collections à la matérialité complexe, à plusieurs points de vue. On rencontre ainsi :

- des problématiques liées à leur nature composite et à la spécificité de certains de leurs matériaux constitutifs ;
- des problématiques liées à leur taille et à leur morphologie, notamment avec l'existence de zones peu ou pas accessibles, aussi bien à l'observation qu'au geste ;
- des problématiques liées à leur compréhension technique ;
- des problématiques liées à leur fonctionnalité, que l'on peut souhaiter maintenir ou non ;
- des problématiques liées à diverses modifications que ces collections ont pu subir, aussi bien avant qu'après leur entrée dans les collections, et qui peuvent soulever la question de la représentativité de ces collections.

Enfin, les projets menés pour la conservation-restauration de ce patrimoine se distinguent par la multiplicité des acteurs intervenant dans le processus. Ces acteurs viennent d'horizons divers, et sont familiers à des degrés très variables de la déontologie associée au traitement des collections patrimoniales. Cette diversité se rencontre non seulement en passant d'une collection à l'autre, mais parfois au sein d'une même institution, où peuvent cohabiter des pratiques éloignées dans leur principe. C'est le cas par exemple du Musée de l'Air et de l'Espace, où des projets sont menés simultanément par des conservateurs-restaurateurs diplômés (internes ou externes), des associations bénévoles et des élèves en formation technique.

Les institutions conservant des collections du patrimoine technique et industriel, françaises aussi bien qu'internationales, se trouvent dans une période de transition, souhaitant évoluer pour s'éloigner de pratiques très invasives (remise à neuf, modifications, remplacements, fonctionnement systématiques) et aller vers des pratiques donnant la priorité à la conservation, aussi bien des matériaux que du sens et de l'authenticité des collections. Le Musée de l'Air et de l'Espace a ainsi récemment recruté un conservateur-restaurateur diplômé dans son équipe dans ce but.

Néanmoins, la problématique générale demeure : face aux nombreux questionnements et paramètres à considérer, comment élaborer et faire aboutir les projets de conservation-restauration pour ces collections ?

La nécessité de la collaboration paraît alors évidente, mais demande à être traduite dans les faits. Pour cela, quatre questions doivent être régulièrement considérées : avec qui collaborer ? à quel moment collaborer ? pourquoi collaborer ? et surtout, est-il toujours possible de collaborer ?

Avec qui collaborer ?

Les différents projets présentés ici ont en commun l'interaction avec des catégories d'acteurs récurrentes, mais d'une grande variété. On trouve des responsables de collections, qui, selon les cas, peuvent être ou ne pas être des acteurs sensibilisés à la déontologie de la conservation-restauration dans un contexte patrimonial. Plus rarement, les institutions peuvent intégrer dans leurs équipes de conservateurs-restaurateurs diplômés et des personnels techniques, comme c'est le cas au Musée de l'Air et de l'Espace. Certaines institutions intègrent des anciens agents reconvertis, pouvant assurer des missions de régie ou d'entretien des collections, à l'exemple du Musée de la Poste. Les musées municipaux, comme le Musée d'Art et d'Industrie de Saint-Etienne peuvent, quant à eux, faire appel à des agents des services municipaux pour certaines tâches, telles que le transport des collections.

Pour le Musée de l'Air et de l'Espace et pour le Musée de la Poste, les demandes de restaurations sont intervenues dans un contexte de réouverture après fermeture pour travaux. Cela induit la présence d'autres catégories d'acteurs (architectes, scénographes, responsables du nettoyage industriel des lieux), au-delà de celles directement impliqués dans la conservation des collections. Pour le conservateur-restaurateur externe à l'institution, il n'est que rarement possible d'interagir directement avec ces acteurs, même s'ils peuvent avoir une influence non négligeable dans les choix liés à la conservation des collections.

Le déroulement des projets dans un contexte pluridisciplinaire demande d'articuler les interventions de ces différents acteurs, aussi bien internes qu'externes aux institutions. Ces acteurs ont souvent des perceptions différentes des collections concernées, mais aussi des compétences complémentaires les unes des autres, qu'il est nécessaire de mettre en résonance. De plus, ils sont tous généralement animés du même objectif (sans toujours le formaliser clairement), qui est d'assurer la sauvegarde des collections, auxquelles ils peuvent être attachés à titre personnel.

A quel moment collaborer ?

La chaîne opératoire permettant d'aboutir à la conservation des collections patrimoniales s'articule généralement en trois grandes étapes, ouvrant chacune des possibilités de collaboration interdisciplinaire : conception du projet et définition des objectifs ; mise en œuvre des interventions définies ; maintenance et suivi post-intervention.

Ces étapes peuvent s'articuler de manière linéaire, ou sur la base d'échanges entre les différentes étapes, le contexte pouvant varier pour chaque institution, ou même pour différents projets au sein d'une même institution.

De façon régulière, les conservateurs-restaurateurs, lorsqu'ils sont extérieurs à l'institution, sont consultés assez tardivement dans la chaîne opératoire, et nécessairement dans le cadre d'une relation commerciale ponctuelle.

Leur rôle premier dans cette chaîne est de s'assurer de la pertinence des interventions de conservation-restauration dans l'intérêt des collections et des institutions responsables. En intégrant tardivement le projet, ils se trouvent dans une position peu confortable, soit parce qu'ils sont amenés à suggérer la réorientation d'un projet déjà engagé, soit parce qu'ils doivent donner la priorité pour leurs interventions à d'autres aspects que les besoins de conservation des collections.

Pourquoi collaborer ?

La collaboration et la pluridisciplinarité peuvent servir différents objectifs. Quatre exemples de projets menés pour les trois institutions citées vont permettre d'illustrer les raisons et les bénéfices de ce processus.

Ainsi, au Musée de l'Air et de l'Espace, deux projets menés sur deux collections distinctes ont connu un déroulement très différent.

Le premier projet concernait le bilan sanitaire d'un ensemble de quarante-quatre moteurs d'avions. A la demande des restauratrices, il s'est déroulé en collaboration avec deux personnes du personnel des ateliers du musée afin de bénéficier de leur connaissance technique de ces objets. Il paraissait en effet essentiel de dépasser les seules considérations liées aux différents matériaux constitutifs, pour s'intéresser également aux questions liées à l'architecture des moteurs, à l'absence éventuelle de certaines pièces et aux anciennes modifications recensées.

Conçu d'abord comme une analyse destinée à guider les choix de présentation dans les nouvelles galeries, ce projet a connu une évolution notable entre la demande initiale et son déroulement réel : il est devenu un travail d'étude et de documentation plus général de la collection de moteurs, toujours en cours actuellement.

Le deuxième projet pour cette institution a été une étude préalable à la restauration de seize aéronefs, en vue de leur exposition dans les galeries à la réouverture du musée. Ce projet s'est déroulé en étroite collaboration entre le responsable de la collection et une équipe de douze conservateurs-restaurateurs externes. L'objectif principal a été d'aboutir à la conception d'un cahier des charges pour la restauration, basé sur la mise au point d'un système d'évaluation de l'état des aéronefs et de préconisations à la fois adaptées aux besoins et réalistes en termes de contraintes d'exécution. Cette démarche était mise en œuvre pour la première fois au sein de l'institution.

La restauration de l'ensemble de cycles anciens pour le Musée d'Art et d'Industrie de Saint-Etienne illustre d'autres étapes du processus collaboratif. Pour ce projet, la demande initiale était basée sur une étude préalable plus ancienne, focalisée sur les problématiques des revêtements peints et prenant peu en considération la nature tridimensionnelle et composite des objets. Face à cette demande inadaptée, les discussions engagées lors de l'aller-voir entre la conservatrice-restauratrice et la régisseuse de collection ont permis de réorienter le cahier des charges pour répondre de façon plus circonstanciée aux besoins de conservation des objets.

En parallèle, en raison de la double tutelle partagée entre une institution propriétaire et une institution dépositaire, il aurait été souhaitable de consulter la conservatrice du Musée de la Voiture et du Tourisme à Compiègne. Cette démarche n'a malheureusement pas pu aboutir.

A l'issue du projet, la gestion du transport retour des cycles (depuis Paris, où ils étaient restaurés, vers Saint-Etienne) a nécessité une discussion avec les agents municipaux de la ville, chargés d'acheminer les cycles. Les agents étaient habitués à transporter les œuvres du musée conditionnées en caisses (ce qui n'était pas le cas des cycles), et n'étaient pas habitués à considérer des vélos, même anciens, comme des œuvres ou des objets nécessitant un soin particulier. *In fine*, les précautions nécessaires ont pu être prises afin de permettre un trajet retour sans risque pour les objets ou pour les interventions effectuées.

Au Musée de La Poste, une observation régulière de l'état des collections dans les réserves a révélé que certains objets pouvaient être épisodiquement nettoyés par les équipes en interne, de façon informelle. Pour donner un cadre à ces pratiques issues de bonnes volontés, une formation au dépoussiérage a été organisée pour les membres de l'équipe en contact direct avec les collections.

Est-il toujours possible de collaborer ?

Les exemples cités précédemment montrent qu'il n'est pas toujours évident de mener une collaboration. Le facteur limitant important auquel nous avons dû régulièrement faire face a été le contexte d'exercice très différent pour les acteurs impliqués dans ces projets.

Quatre thématiques constituent des pierres d'achoppement de façon récurrente :

- la problématique temporelle, puisque le rythme et la perception du temps s'avèrent très différentes entre les intervenants externes et le personnel interne des institutions ;
- la légitimité des personnes autorisées à intervenir sur les collections ou à accompagner la prise de décisions. Cette problématique est particulièrement présente dans les institutions où le personnel interne non diplômé en conservation-restauration a pu intervenir sur les collections à une période plus ancienne ou a été au contact des objets avant leur patrimonialisation. Face au changement de statut des objets dont ils sont familiers, qui implique un changement des pratiques, ces personnes peuvent se sentir dépossédées d'un savoir-faire et du rapport privilégié qu'ils pouvaient entretenir avec les collections ;
- la communication, dont la fluidité découle toujours des deux précédents facteurs et qui demande à être adaptée en fonction de l'interlocuteur tout au long du projet ;
- la confiance, à construire et à maintenir entre les différents acteurs tout au long du projet. Cette question est présente à plusieurs niveaux : entre les intervenants internes et externes aux institutions, au sein des institutions entre les différents services et entre les intervenants externes, notamment mais pas exclusivement les conservateurs-restaurateurs.

La question du démontage, inévitable et récurrente dans le traitement du patrimoine technique et industriel, illustre différents degrés d'aboutissement du processus collaboratif.

De façon générale, le démontage est une action qui effraye, aussi bien les responsables de collection que certains intervenants. Les appréhensions les plus fréquentes concernent sa complexité, sa durée et le risque induit pour l'objet. Par conséquent, il est toujours envisagé avec réticence et plus volontiers évité.

Le démontage apporte cependant des bénéfices significatifs :

- une meilleure accessibilité, aussi bien pour un meilleur examen et un meilleur diagnostic que pour un gain de temps dans la mise en pratique du geste ;
- la mise en œuvre de traitements ciblés, sur les éléments visés, et sans risque pour les éléments adjacents ;
- la possibilité d'appliquer les traitements de façon homogène à l'ensemble des surfaces et des éléments.

Le démontage est par ailleurs une action modulable, dont il est possible de maîtriser le niveau de risque. A cette fin, des outils décisionnels et des outils documentaires existent et peuvent être adaptés selon les besoins. On peut ainsi décider d'un démontage partiel, plus ou moins poussé, ou total en fonction de trois critères : la nécessité de démonter, la possibilité de démonter, la possibilité de remonter. Des gammes de démontage permettent d'enregistrer la numérotation et la localisation des pièces ainsi que les gestes effectués et les outils nécessaires.

Au Musée de l'Air et de l'Espace, des opérations de démontage ont été préconisées et effectuées dans le cadre des deux projets mentionnés. Dans les deux cas, le démontage n'avait pas été envisagé initialement, mais les discussions menées entre les différents acteurs des projets ont permis d'en valider la nécessité et la faisabilité. Dans le cas des moteurs, le démontage a été effectué dans le but d'obtenir des informations, sur l'état des parties internes. Ces zones ont souvent présenté des corrosions importantes alors que les parties externes présentaient un état de conservation peu alarmant. Dans le cas des avions, le démontage a été le préalable des interventions de conservation-restauration sur des zones autrement peu ou pas accessibles.

La restauration des cycles s'est déroulée dans le même contexte, où le démontage n'avait pas été considéré initialement mais où des opérations de démontage partiel ont pu être effectuées, dans la mesure où cela était à la fois nécessaire et réalisable.

Au Musée de La Poste, la question du démontage s'envisage de façon plus prudente, dans le cadre de projets menés en plusieurs étapes. Ainsi, dans le cas de *l'Hermès Postier*, œuvre cinétique de l'artiste James Chedburn, constituée d'une silhouette en fil de laiton sur une Mobylette, l'action a été limitée à la dépose de la silhouette, sans intervention de démontage, au moment de la rédaction, sur les éléments du moteur ou du mécanisme actionnant la mise en mouvement de l'œuvre.

Conclusions

Nous espérons avoir montré à travers ces quelques exemples que la collaboration n'est pas seulement un vœu pieux, mais qu'elle est au contraire possible et bénéfique. Dans le cadre du patrimoine technique et industriel, elle est même indispensable pour assurer le bon fonctionnement de la chaîne opératoire pour la préservation des collections. Il s'agit néanmoins d'un processus qui nécessite une démarche active permanente, ainsi que la prise en compte de paramètres nombreux et variés à différentes étapes. Le processus collaboratif dans son ensemble repose pour une grande part sur des principes d'anticipation et de planification, permettant de créer le cadre propice à son déroulement.

Dans ce contexte, le conservateur-restaurateur joue un rôle essentiel. Tout d'abord, il est le dénominateur commun entre tous les acteurs du projet, et assure à ce titre un rôle de pivot ; il peut ainsi faire le lien et communiquer de manière informée avec chacun des acteurs.

C'est également la personne qui a une vision globale du projet, comprenant la finalité et les différentes étapes pour y parvenir. Il peut ainsi cibler, récolter, analyser et synthétiser les informations, afin de proposer les solutions adaptées et conseiller les responsables des collections dans leurs décisions, au mieux de leurs intérêts.

Enfin, c'est l'acteur qui intervient directement sur l'œuvre, en assurant la transition entre les concepts théoriques, les connaissances scientifiques et l'application pratique des traitements. A ce stade, il apporte ses propres compétences, mais sait reconnaître ses limites et s'entourer de spécialistes adéquats ou acquérir de nouveaux savoirs.

Dans le domaine du patrimoine technique et industriel, les processus collaboratifs interdisciplinaires sont encore largement à construire, en s'adaptant au cas par cas aux particularités des institutions et des collections.

Comme le soulignent les exemples évoqués ici, les bénéfices d'une telle démarche seront plus importants si la collaboration et l'interdisciplinarité sont développées dans une perspective globale de gestion de projet, à un stade très précoce, et considérées comme une interaction de confiance entre les différents intervenants, et non pas comme une simple juxtaposition de gestes isolés.

Le contexte d'exercice actuel des conservateurs-restaurateurs laisse peu de latitude pour mener des réflexions intégrées à tous les stades de la chaîne opératoire. Il est à souhaiter que les exemples bénéfiques et les méthodologies éprouvées au cours de ces projets pourront donner une impulsion pour une évolution positive des pratiques.

**DE L'USAGE DU NUMÉRIQUE POUR LA VALORISATION PATRIMONIALE
DU PATRIMOINE INDUSTRIEL :
UNE NÉCESSAIRE INTERDISCIPLINARITÉ
HISTOIRE DE LA LAVERIE À SEL DU MUSÉE DES MARAIS SALANTS
À BATZ-SUR-MER (44)**

Florent Laroche

Maître de conférences HDR, Laboratoire LS2N (UMR CNRS 6004), Ecole Centrale de Nantes

 florent.laroche@ec-nantes.fr

Michaële Simonnin

Conservatrice du Musée des Marais Salants, Batz-sur-Mer

 michaele.simonnin@cap-atlantique.fr

Du numérique pour sauvegarder le patrimoine

Pour optimiser sa création de valeur, l'entreprise adapte sans cesse son mode de fonctionnement et ses outils de production. Les machines considérées comme obsolètes car ne répondant plus à la demande sont ainsi arrêtées, remises voire démantelées. Les évolutions géopolitiques qui affectent les systèmes techniques classiques de production menacent d'une perte de mémoire les pays ayant eu un riche passé industriel. Certains sites disparaissent et les savoir-faire qui leur étaient associés aussi.

L'approche développée dans nos recherches consiste à « renverser l'axe des temps de la conception » et à proposer, à partir de l'objet technique et des informations dont on dispose et grâce à l'utilisation d'outils, une capitalisation et une modélisation numérique en vue d'une remise en situation d'usage virtuelle. Numériser ou digitaliser est devenue pratique courante... pour autant, de nos jours, lorsqu'il est question de Patrimoine, la priorité est donnée aux châteaux, aux vieilles pierres... Qu'en est-il des machines et du savoir-faire que les hommes vont emporter avec eux lorsque les sites industriels seront arrêtés ? C'est un peu comme un puzzle dont les pièces s'usent et disparaissent au fur-et-à-mesure emportant toute la connaissance technique, « de l'humanité ». Alors si l'on ne veut pas réinventer la roue, ou la bielle-manivelle, ces travaux de recherche permettent, non pas de tout sauvegarder, mais de trouver une méthodologie pour « sauver » ce patrimoine immatériel.

« Au cours du siècle passé, une extraordinaire explosion scientifique a produit une somme de données, d'idées, et de principes plus grands que tous les millénaires précédents de l'histoire réunis avaient réalisé... Il est évident que la science ou plutôt la coopération scientifique, doit jouer un rôle dirigeant dans la tâche prodigieuse qui consiste à synthétiser cette masse énorme de connaissances sous forme d'un modèle intelligible, signifiant et chargé d'efficacité humaine. » [Sir Julian Huxley]

L'Archéologie industrielle avancée

En termes de sauvegarde patrimoniale, la priorité est en général accordée aux approches d'architectures industrielles. S'orientant vers les stratégies de gestion des territoires et des paysages, une moindre mesure est accordée à l'héritage des machines, des processus industriels ou des savoir-faire ouvriers. Cette situation se comprend aisément :

- en raison d'une meilleure conservation fréquente du contenant bâti de l'industrie au détriment du contenu en machines, rapidement revendues ou ferrailées,
- mais également par les nécessités souvent impérieuses de la restructuration urbaine et des projets de réutilisation et de réaffectation entrepris par les collectivités.

À ce jeu, les machines, les usines, les processus de fabrication qui ont forgé notre économie sont oubliés, détruits. Le fait est d'autant plus grave que les sites industriels ont été des lieux de production et d'exploitation de connaissances – un acquis immatériel qui n'a fait que croître depuis des centaines d'années. Demeurant à l'état de vestiges, ces sites recèlent en fait un savoir-faire immatériel fondamental pour notre culture.

Cherchant à faire face à ces pertes de données, certaines entreprises tendent à reconsidérer leur point de vue et se sont lancées dans le vaste chantier du *Knowledge management*. Depuis quelques années, la capitalisation des connaissances est devenue une application à la mode dans les milieux industriels contemporains. Comme l'a dit Tom Stewart en 1997, journaliste pour le magazine Fortune : « *L'actif le plus précieux des entreprises est son capital intellectuel* ».

Pour autant, la faible place de la culture technique en France ne favorise pas, pour l'instant, l'approche que nous développons pour restituer la valeur de notre patrimoine technique et industriel. Ne pouvant suivre la ligne des priorités industrielles, il revient alors aux universitaires, en collaboration avec les conservateurs de musées, les historiens et les experts en patrimoine d'apporter des éléments de réponse et de mettre en œuvre des moyens pour conserver et comprendre - immortaliser – ces savoir-faire matériels et immatériels à vocations scientifique, technique et industrielle.

Dans cette logique d'anticipation de la perte des savoir-faire scientifiques et techniques, notre équipe de recherche a formalisé une méthodologie et l'a expérimentée sur plus d'une dizaine d'études de cas ; nous en développerons quelques-uns dans la suite de cet article en illustration à notre démarche.

Cette nouvelle discipline, nous la nommons « archéologie industrielle avancée ». L'enjeu se définit en lui-même par le caractère interdisciplinaire requis pour l'étude des objets, à la croisée des sciences humaines et sociales ainsi que des sciences de l'ingénierie et du numérique. L'utilisation des outils de l'ingénieur au profit de la conservation et de la valorisation du patrimoine culturel a déjà fait l'objet de nombreux travaux de recherche théorique. Cependant, les institutions patrimoniales, et plus particulièrement les musées et le champ de la muséologie, souffrent d'un manque méthodologique pour accompagner de manière durable la gestion des connaissances et la valorisation du patrimoine. En effet, la conservation et la vulgarisation de ces objets dans les musées et les sites font transparaître un vieillissement intrinsèque de l'information technique. Une nouvelle forme de muséologie devient nécessaire afin que ce savoir-faire immatériel soit pérennisé, ainsi que le contexte de travail. Comme le souligne Paul Rasse, « *on est bien loin de l'usine et de l'atelier, du bruit et de la poussière, de la fatigue et de la sueur, de la fureur des luttes et de la violence des rapports sociaux...* ». Il est donc nécessaire de formaliser cette nouvelle chaîne numérique afin d'y apporter une validité scientifique, porteuse d'une déontologie signifiante tant pour les professionnels, les experts que le grand public.

Couplant le point de vue technologique de l'ingénieur avec la vision patrimoniale d'un historien des techniques, c'est un nouveau métier et une nouvelle discipline qui apparaissent. Ce n'est donc plus seulement de l'archéologie car les études se focalisent sur des usines et non plus seulement sur des monuments historiques. Mais c'est bien plus que de l'archéologie industrielle car désormais les machines et la technique sont à l'honneur. Il n'est pas pour autant question d'isoler ces objets, il faut retrouver les savoir-faire techniques qu'ils véhiculaient et les compétences développées à travers leur usage – une thématique qui rejoint les méthodes de *Knowledge management* (KM). C'est ce que nous appelons l'AIA, l'archéologie industrielle avancée.

Destinées à des fins de vulgarisation scientifique, muséographique et didactique, ces images virtuelles ne remplacent jamais le réel. Ces modèles numériques ne sont que des illustrations ou des évocations et ne doivent pas être considérés comme un moyen de conservation de l'information au sens rigoureux du terme mais plutôt comme un support à la compréhension. Les éléments apportés par ce travail de recherche n'ont pas pour but de proposer un miracle technologique virtuel en lieu et place des actions de conservation classiques. Il s'agit de prendre conscience des limites imposées par les faits et par les pratiques du patrimoine, pour les compléter, les renforcer et les accompagner. Par ailleurs, non seulement le statut numérique possède ses propres limites, mais il pose à son tour de nouveaux problèmes spécifiques, tant pratiques qu'épistémologiques. La figure 1 illustre les différentes étapes de cette démarche.

La méthodologie développée dans l'Archéologie industrielle avancée permet la constitution du dossier d'œuvre patrimoniale technique en capitalisant les connaissances du passé sous une forme numérique et en les repositionnant virtuellement en situation d'usage à des fins de muséographie et de valorisation. Il s'agit du rétro processus de conception patrimoniale.

Compte-tenu de la complexité des objets techniques étudiés et afin de guider les acteurs du processus de patrimonialisation, il faut pouvoir caractériser de façon exhaustive l'objet technique et son environnement. La complexité des objets induisant une multiplicité des compétences, le projet d'ingénierie patrimoniale requiert la coopération de métiers qui, jusqu'alors, ne collaboraient pas ou peu. De nouvelles formes d'équipes inter-disciplinaires émergent ainsi, disposant d'un référentiel commun afin d'harmoniser les différentes sémantiques. Nous avons donc mis en place un système d'information globalisant pour :

- encapsuler la description de l'objet technique ancien dans son aspect internaliste fonctionnel,
- prendre en compte le contexte de l'objet et l'intégrer dans son environnement ; il s'agit ici du travail fondateur des historiens qui permet de définir l'aspect externaliste des systèmes techniques passés,
- décrire les différentes transformations intermédiaires de l'objet depuis ses vestiges archéologiques jusqu'aux projets de valorisation multimédia,
- considérer également les aspects humains, les acteurs du passé qui ont utilisé l'objet, ainsi que les acteurs du temps présent impliqués dans le processus de patrimonialisation.

Se situant à l'interface des sciences de l'ingénieur et des sciences humaines et sociales, ce modèle, exprimé dans le langage UML, *Unified modeling language*, est avant tout conceptuel. Le DHRM, *Digital heritage reference model* ou Dossier d'œuvre patrimoniale numérique de référence, définit l'objet technique à caractère patrimonial dans ses fonctionnalités et dans son histoire, et à différentes échelles (du boulon à l'usine et depuis l'opérateur passé jusqu'au visiteur de musée). D'un point de vue opérationnel, le DHRM se décline en une maquette numérique de référence, associée à des connaissances externes et au savoir-faire anthropologique. Il s'agit d'un nouvel outil de travail muséologique pour lequel la couche technique n'existait pas encore.

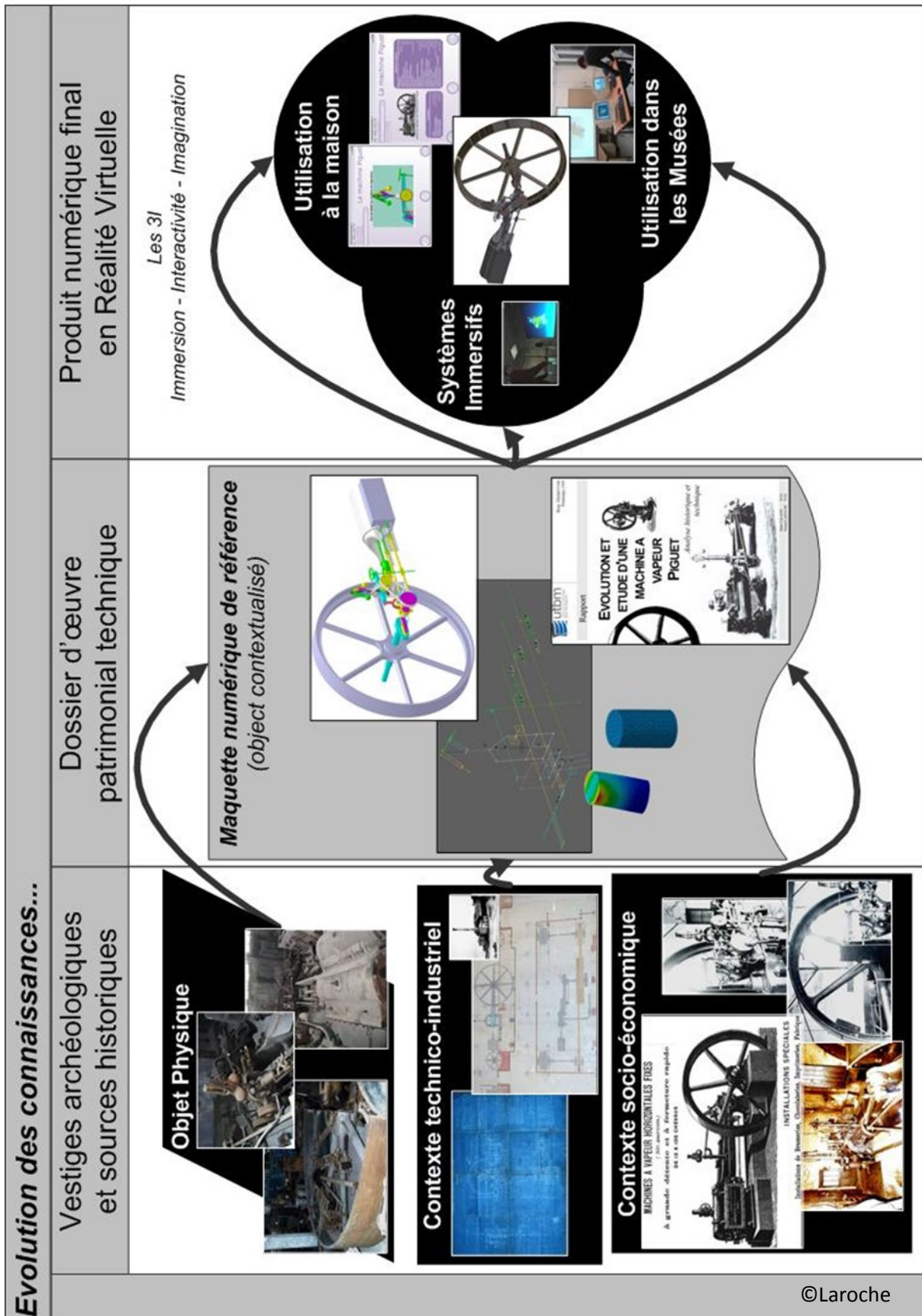


Figure 1. Les différentes étapes de l'archéologie industrielle avancée

Méthodologie

Sauvegarder et conserver un objet physique coûte cher pour un musée ; de plus, le démantèlement est parfois impossible (la machine tombant en ruine). Nous proposons de le sauvegarder sous la forme d'un objet virtuel, d'une maquette numérique.

L'Archéologie industrielle avancée permet une interopérabilité des outils des sciences pour l'ingénieur par une méthode interdisciplinaire de capitalisation des connaissances du patrimoine technique et industriel. La méthodologie générique dédiée à la virtualisation du patrimoine se présente par la figure suivante selon le schéma A→B→C :

- 1- depuis la numérisation de l'objet et la capitalisation des connaissances,
- 2- en passant par la modélisation numérique de l'objet physique, de sa cinématique et de sa dynamique,
- 3- jusqu'à sa vulgarisation dans un cadre muséal, d'expertise et d'archivage.

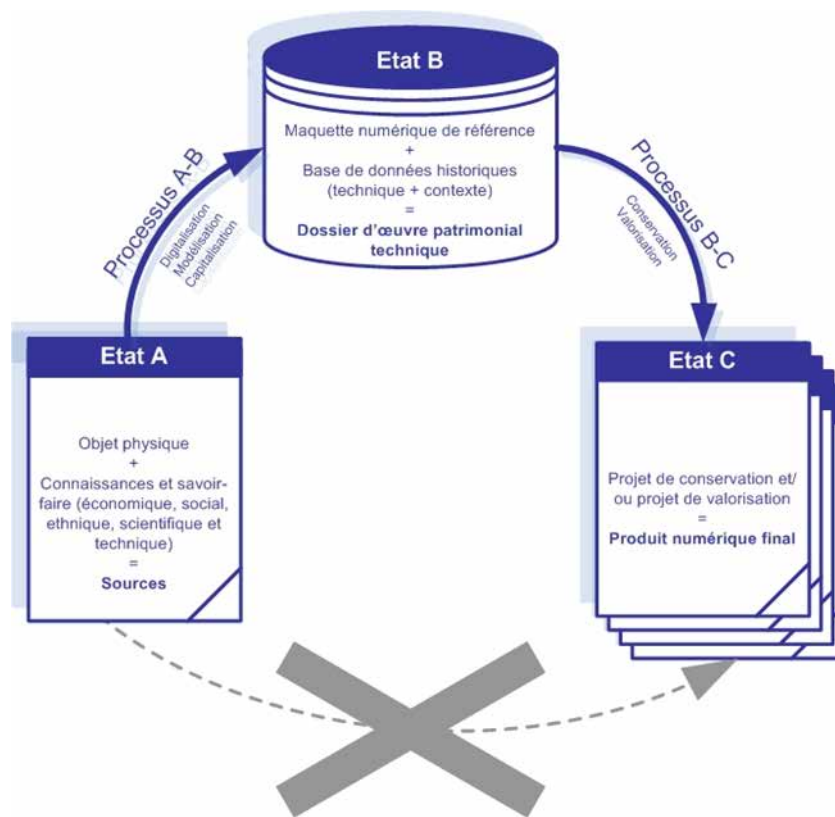


Figure 2. Méthodologie générale pour conserver et valoriser le patrimoine technique et industriel

Passer directement de l'état A à l'état C n'est pas recommandé. En effet, les différentes possibilités de finalités énumérées ci-après pour l'état C montrent qu'il est nécessaire de capitaliser un maximum d'éléments au départ. Ainsi, un état intermédiaire structuré contenant l'ensemble des informations, des données et des connaissances est indispensable : c'est ce que l'on appelle, par extension à la définition muséographique du dossier d'œuvre, le dossier d'œuvre patrimonial technique.

Phase de capitalisation et d'acquisition

La première phase concerne l'acquisition des données. Il s'agit d'un travail classique en histoire des techniques, consistant à rassembler la documentation. La première catégorie concerne les plans, les données archéologiques, anthropologiques ou ergonomiques, les restes de machines. La deuxième catégorie est constituée par des données économiques, sociales, architecturales, paysagères.

Par la suite, un travail de numérisation des données, de prise de cotes, est mené. Les premiers outils de base sont bien entendu le pied à coulisse et le mètre à ruban. Cependant, afin de gagner en temps de mesure et afin de pouvoir prendre en charge des machines complexes, la numérisation 3D peut être utilisée : théodolite à balayage laser, photogrammétrie, scanner laser 3D avec reconstruction topographique en temps réel. Afin de choisir la meilleure technique en fonction des contraintes de l'environnement et de l'objet patrimonial, nous avons développé un algorithme de décision pour guider la démarche de sauvegarde.

Phase de compréhension/interprétation et de re-conception

La phase explicitée précédemment est guidée par un méta-modèle conceptuel de données. Ce modèle est également utilisé pour analyser les données numérisées dans le but d'élaborer la maquette numérique de référence de l'état B. Ce rétro-processus de patrimonialisation fait intervenir toutes les données à caractère scientifique, technique et dynamique de la machine. De plus, une base de données à caractère historique lui est associée. Cet ensemble constitue donc le dossier d'œuvre patrimonial technique, permettant la gestion des connaissances.

Phase de valorisation, diffusion de la connaissance

À partir de l'état de référence constitué précédemment, plusieurs possibilités d'utilisation de cette maquette à des fins de valorisation sont envisageables (état C) : thésaurus virtuel (archives numériques), sauvegarde en archéologie industrielle, utilisation didactique pour experts ou universitaires, reconstruction, valorisation muséographique pour tout type de public. Pour le dernier cas d'application, plusieurs approches peuvent être développées. Au vu de la croissance exponentielle des technologies de réalité virtuelle, nous menons actuellement des recherches d'un point de vue utilisateur afin de cerner au mieux les besoins du public quant à l'appréhension de ce type de technique.

Histoire de la laverie à sel du Musée des marais salants à Batz-sur-Mer (44)

Il s'agit là d'une expérience ayant débuté il y a vingt ans, suite à une rencontre fortuite avec un objet technique industriel : une machine artisanale du XX^e siècle (1914-1966). Il s'agit d'une des dernières laveries à sel de la presqu'île guérandaise. Celle-ci fait partie du parcours muséographique du futur Musée de France des marais salants de Batz-sur-Mer (voir figure 3).

La démarche de conservation et d'investigation entamée pour comprendre cet objet a alors permis de répondre à de nombreuses questions : comment sauver cet objet mobilier fait de métal et de bois et fortement détérioré par le sel ? Comment fonctionnait-il ? Quelle était sa capacité de traitement ? Pourquoi laver le sel de Bretagne ? Comment l'utilisait-on ? Pourquoi le lavage s'est-il arrêté et pourquoi commercialise-t-on aujourd'hui du sel gris ? Mangeraient-on de nos jours du sel impropre ? La prise en compte d'un système technique complet dans ses multiples aspects sociaux, économique, industriels a alors permis de comprendre l'évolution des valeurs transmises par ce produit de consommation courante.

Après une première phase d'analyse, la capitalisation des connaissances intrinsèques de l'objet a permis de délivrer le savoir-faire nécessaire pour concevoir et utiliser la machine à sel. Ainsi, sa modélisation sous la forme d'une maquette numérique 3D a permis de déduire des informations sur les flux de production mis en œuvre : quantité de sel lavé recueilli, lavé, vendu, exporté (voir figure 4)¹.

Mais cette machine faite de bois et de métal est dans un état de dégradation tel qu'il fut impossible de la sauvegarder ; un démantèlement était donc inévitable. Malgré tout, la problématique soulevée par cette découverte pour tenter de répondre à la question « pourquoi laver du sel ? » a convaincu les conservateurs d'inscrire cette nouvelle étape dans l'histoire du sel. Ce rebondissement technico-historique va être intégré au parcours muséographique du futur musée. En effet, dans le cadre de l'agrandissement du Musée des marais salants de Batz-sur-Mer, il a été décidé de reconstruire l'objet à échelle 1:1. Les travaux sont en cours et suscitent de nombreuses questions de la part des artisans en charge de la reconstruction : la machine doit-elle re-fonctionner réellement ? Où retrouver une vis dans le catalogue actuel ? etc.



Figure 3. Machine à laver le sel, vestiges archéologiques

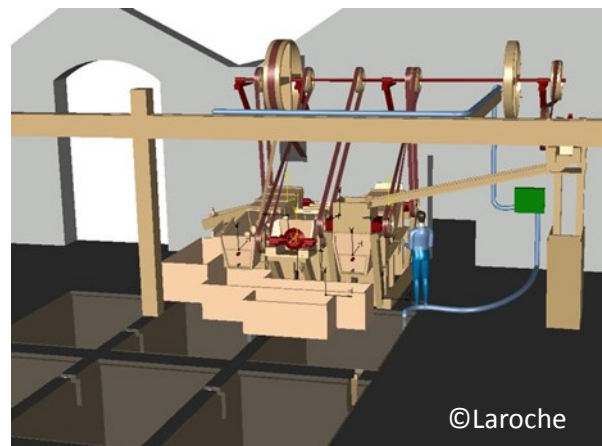


Figure 4. Machine à laver le sel, maquette numérique.

Synthèse et discussions prospectives

L'idée d'une utilisation des outils numériques pour l'histoire des techniques a été initiée en 1999 par Michel Cotte² alors en charge de la formation humaine de futurs ingénieurs. Plus de quinze ans après, le bilan est plus que positif. L'hypothèse a été validée en théorie et en pratique³. Même si la démarche demeure encore artisanale, elle tient avant tout dans la rigueur scientifique de l'approche que notre équipe formalise de jour en jour.

Diffuser ces travaux et proposer cette méthode de travail est désormais devenu notre axe de développement principal. Mieux comprendre notre monde, anticiper les évolutions socio-économico-techniques sont nos objectifs, mais

1. Florent Laroche, « Les outils du virtuel : la mécanisation du lavage du sel à Batz-sur-Mer au XX^e siècle », *L'Archéologie industrielle en France*, n°51 (2008) 46-51.

2. Cotte, M., & Deniaud, S. CAO et patrimoine : perspectives innovantes. revue *Archéologie industrielle en France*, n°46 (2005) 32-38

3. Laroche F. Contribution à la sauvegarde des Objets techniques anciens par l'Archéologie industrielle avancée : Proposition d'un modèle d'information de référence muséologique et d'une méthode interdisciplinaire pour la capitalisation des connaissances du patrimoine technique et industriel, Thèse de Doctorat, Laboratoire IRCCyN, Ecole Centrale de Nantes, (2007) 563 p. + annexes

au lieu de travailler sur des objets présents, notre proposition consiste à prendre comme point de départ des objets techniques appartenant au passé. C'est dans une vision du futur et une logique d'anticipation, à partir des techniques du passé, que nos projets de recherche sont menés, au sein d'une équipe multidisciplinaire. Ne pourrait-on pas imaginer dans l'avenir des écoles d'ingénieurs-historiens ?

Ces interférences entre l'histoire, les techniques et le futur qui sous-tendent nos recherches actuelles, s'inscrivent dans l'histoire de la technologie. Nos travaux perpétuent ainsi l'œuvre des nombreux vulgarisateurs scientifiques des siècles passés, tel Louis Figuier qui, dans *Les merveilles de la science*, rêvait d'une technologie générale déployée sous l'égide d'une histoire héroïque des inventions :

« Nous avons étudié le monde ancien, la littérature, l'histoire et la philosophie de la Grèce ou de Rome. Nous sommes parfaitement initiés à l'histoire d'Alexandre et de César, aux faits et gestes de Caton l'ancien et de Denys le tyran, et nous pouvons dire le nombre de galères qui figuraient à la bataille de Salamine. [...] Mais la science est entrée, de nos jours, dans toutes les habitudes de la vie, comme dans les procédés de l'industrie et des arts : nous voyageons par la vapeur ; tous les mécanismes de nos usines sont mus par la vapeur ; nous correspondons au moyen d'un courant électrique ; nous commandons notre portrait à la chimie ; nous nous faisons éclairer par un gaz emprunté à la chimie ; c'est la chimie qui conserve nos légumes pour la saison de l'hiver ; nous demandons à l'électricité de remplacer nos sonnettes... [...] On ne peut trouver une matière plus intéressante que l'histoire et la description des grandes inventions scientifiques dans lesquelles éclate toute la grandeur du génie humain. [...] Lorsque l'utilité des travaux de ce genre sera mieux appréciée qu'elle ne l'est encore, d'autres écrivains compléteront cette tâche en embrassant l'ensemble tout entier des conquêtes scientifiques de notre époque, et ainsi seront sauvés de l'oubli des monuments précieux qui seront un jour les vrais titres de gloire de l'humanité »⁴.

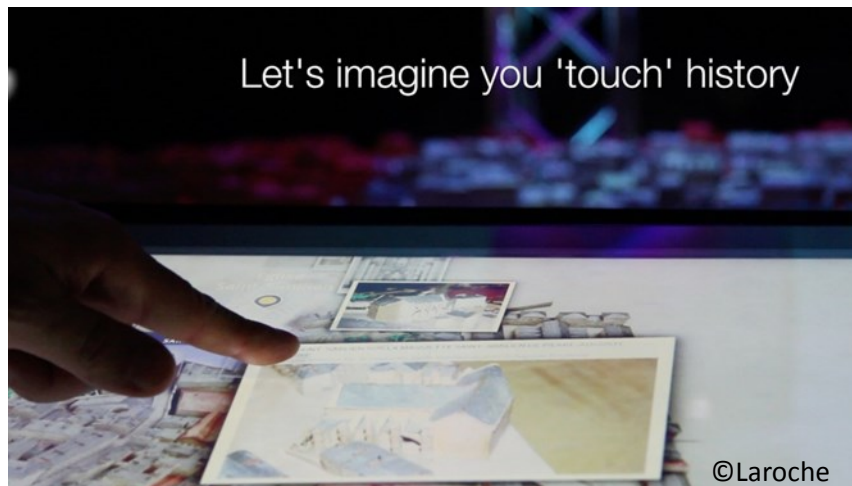


Figure 5. Let's imagine you 'touch' history

Avec l'explosion des contenus sur le Web, le citoyen fait face à une profusion d'informations. Comment faire le lien entre ce monde virtuel et le monde réel dans lequel il évolue ? Les outils actuels développés par l'industrie du numérique présentent des limites liées aux technologies elles-mêmes. Nos travaux cherchent à développer des outils d'aide à la décision pour permettre à la fois aux professionnels et au public de mieux appréhender cette connaissance.

4. Louis Figuier, *Les merveilles de la science*, Préface, tome 1, Paris, Librairie Furne (1896) p.2.

Il s'agit de changer le rapport du citoyen à la culture humaine.

Vulgariser cette connaissance auprès d'un large public est également nécessaire pour essaimer les bonnes pratiques. A ces fins, nous développons de nombreuses collaborations avec des structures et des institutions de valorisation patrimoniale. Imaginez des Techno-Musées : les musées de demain qui nous feront apprendre grâce à des machines virtuelles car, comme le disait Malraux : « *Un musée est une utopie, un lieu qui échappe à la mort.* »

A très long terme, un enjeu de ces recherches sera de contribuer, à la hauteur de nos moyens, à la capture du savoir-faire de l'humanité. La matérialisation dans une réalisation architecturale, artistique ou un objet... n'est que la projection d'un savoir-faire immatériel.

Comment, demain, pourrions-nous capturer ces gestes anciens et permettre ainsi leur pérennisation ?

Les approches actuelles tendent à matérialiser certains savoir-faire dans des ouvrages linéaires. Lier la réalisation physique et le geste est pourtant fondamental ! Il s'agit là d'une nouvelle forme de collaboration homme-machine pour hybrider l'encapsulation de données de masse. Stocker cette connaissance dans des silos numériques ne ferait qu'accroître les archives virtuelles de notre société. Nos travaux veulent également exploiter cette connaissance afin, un jour, de permettre de réinjecter ce savoir-faire ancien au sein de nos entreprises. En effet, ces dernières n'ont ni le temps, ni les ressources humaines nécessaires pour capitaliser un savoir ancestral qui n'aurait pas de rentabilité directe.

Et pourtant, cette connaissance pourrait devenir source d'innovation pour les entreprises afin de créer un monde plus durable.

D'un point de vue industriel, il s'agit d'anticiper les démarches actuelles de rétro-conception en ne se plaçant pas uniquement du point de vue du patrimoine passé : comment apporter un nouveau regard sur le savoir dans un objectif d'amélioration des conditions d'existence, d'assurer la pérennisation d'une maquette numérique et du double numérique d'un avion ou d'un bâtiment pour envisager son démantèlement dans 50 ans ? Il faut donc considérer dès que possible le patrimoine du présent qui deviendra un jour le patrimoine de demain.


Le patrimoine représente un réel enjeu contemporain qui permettra de construire les projets pour notre futur.

Tout est à inventer : nouvelles démarches de diffusion de la connaissance, nouvelles pédagogies d'apprentissage, nouvelles structurations de la connaissance intégrant le contexte, le temps... nouveaux outils de digitalisation de nos savoir-faire... le chantier est vaste.

ART ET ÉLECTRICITÉ : UNE COLLABORATION NÉCESSAIRE DE LA CRÉATION À LA RESTAURATION

Olivier Steib

Restaurateur indépendant

 olivier.steib@gmail.com

La collaboration en art, c'est l'opportunité d'aller plus loin que là où vos propres capacités vous porteraient. Travailler en partenariat permet en effet d'accomplir une tâche plus efficacement, en faisant appel aux connaissances de l'autre, aboutissant à une production perfectionnée. Ce partage est prolifique pour les artistes, notamment ceux exploitant des techniques modernes, par exemple industrielles ou numériques, car elles dépassent en général sa formation ou le champ de ses connaissances. Il est désormais courant que nombre de créateurs fassent appel à des partenaires pour la production de leur œuvre, et bien souvent cela va plus loin encore dans le cas des productions externalisées, quand l'artiste devient chef de travaux et ne pose plus sa main personnellement sur la matière.

De la même manière, le conservateur-restaurateur qui, à son tour, doit se pencher sur l'œuvre, va devoir nécessairement travailler en collaboration avec d'autres spécialistes, afin d'étendre le champ des compétences requises pour l'examen et l'intervention, si nécessaire, sur l'objet. La position du conservateur restaurateur est donc à son tour celle du chef de travaux, puisqu'il possède les qualités de spécialiste des matériaux anciens, ce qui est peu orthodoxe dans l'industrie, qui renouvelle systématiquement ce qui est dégradé. Il possède de plus une sensibilité artistique et une solide connaissance de l'art, qui lui permettent de comprendre les enjeux esthétiques de l'œuvre, qui distinguent ainsi une applique murale d'un poème lumineux (dans le cas de Dan Flavin, pour exemple).

Un restaurateur peut ainsi coopérer avec un technicien pour résoudre des pannes mécaniques ou électriques, et s'assurer de la conformité de l'installation, tout en veillant à ce que ses interventions n'influencent pas l'aspect ou l'effet produit par l'œuvre. Il peut également être amené à coopérer avec un artiste encore vivant, afin d'obtenir son avis et son point de vue sur des modifications nécessaires à son œuvre, dans le cas de l'obsolescence notamment, et aiguiller les décisions dans l'intérêt du patrimoine. Il est enfin très courant qu'il y ait des coopérations entre conservateur-restaurateurs qui travaillent en équipe, notamment pour répondre à des marchés (lots catégorisés par compétences ou « spécialités »).

Dans tous les cas, il est intéressant de constater que le métier évolue souvent au-delà du cadre de notre formation, dans un monde qui avance trop vite, et la polyvalence devient elle aussi une nécessité. Il faut en effet savoir trouver les bons spécialistes pour résoudre les bonnes problématiques, aussi le conservateur-restaurateur joue le rôle d'un médecin généraliste, qui détermine les symptômes d'un patient et assure le suivi du dossier de soin, et va chercher les spécialistes nécessaires au bon déroulement du traitement. Cela implique nécessairement d'avoir des connaissances multiples et hétéroclites sur les matériaux et les techniques, et aussi de connaître les diverses compétences des métiers qui s'en occupent.

Nous nous concentrerons dans cet article sur les coopérations entre un conservateur-restaurateur et un collaborateur issu d'un autre métier ou un artiste, au travers de trois études de cas, reliés par une problématique centrale : l'électricité.

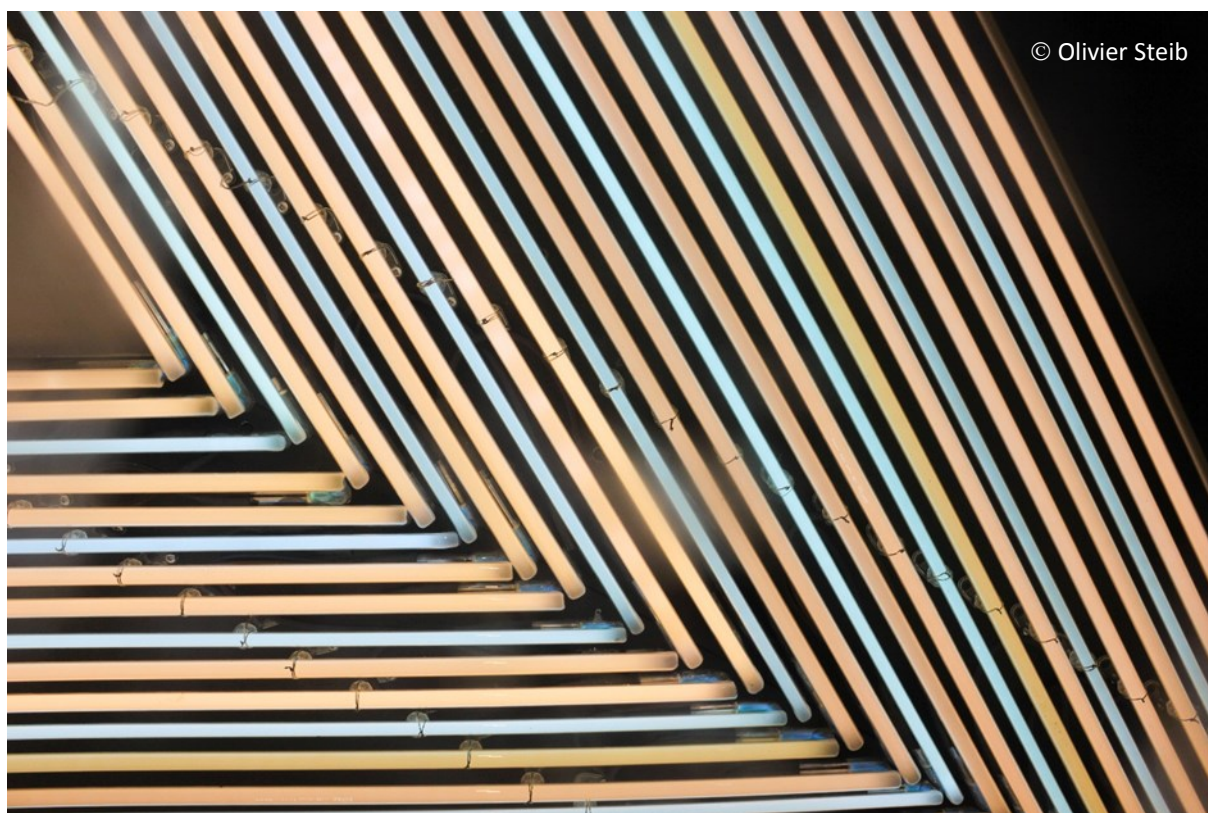
Premièrement, nous avons eu l'opportunité de travailler sur l'œuvre de Bertrand Lavier (Châtillons-sur-Seine, 1949), *Ifafa IV* (2004) au MAMC de Saint-Étienne. Cette œuvre était constituée de 105 tubes néon de tailles différentes, couleur blanc, jaune et bleu, disposés en figure géométrique, reprenant les tableaux de Frank Stella, où le néon remplace la peinture. Nous avons été contactés pour effectuer une étude préalable de cette œuvre, qui ne

comportait que des informations très vagues, dans un dossier d'œuvre très concis. Par conséquent, lors d'un précédent montage, effectué par un poseur d'enseignes, des tubes avaient été remplacés par d'autres de mauvaises teintes, et l'agencement géométrique n'avait pas été respecté. Les tubes n'étaient alors localisés par aucun plan, et l'enseignant les avait disposés de son mieux, en les triant par ordre croissant. Le résultat a été malheureusement un défaut d'alignement. Suite à cette erreur passée, il a été décidé de faire appel à un conservateur restaurateur. Nous avons ainsi réalisé des mesures, établi un plan, et contacté un néoniste compétent pour la fabrication et la pose des tubes manquants ou de mauvaise teinte (une dizaine au total). Nous en avons profité pour nous assurer de la gestion des stocks, et de la disponibilité des références des teintes des tubes néon, qui se raréfient avec les années. Lors du montage, nous étions présents pour guider le poseur d'enseigne et pour agir en garde-fou : en effet, malgré la médiation, à ses yeux il ne s'agissait que d'une *enseigne* et non pas d'une *œuvre*, et faire des percements supplémentaires pour faciliter son travail ne posait pas de problème de conscience, ce qui est tout à fait compréhensible. La présence d'un spécialiste sensibilisé à la valeur artistique d'un objet est donc bien requise pour veiller sur les objets. Le travail s'est ensuite déroulé sans encombre, et au final les échanges entre conservateur-restaurateur et poseur d'enseigne ont été enrichissants, en apportant des connaissances supplémentaires sur les techniques de montage, et autres choses à savoir qui bien souvent ne sont échangées qu'à l'oral, ou acquises par l'expérience. La collaboration est donc l'opportunité d'apporter plus d'informations au dossier ; ce qu'un travail individuel n'aurait pas permis.

Un second exemple de travail décrit la collaboration à distance entre un conservateur-restaurateur et un artiste. En effet, la disponibilité des personnes ne rend pas toujours possibles les rencontres physiques, mais à l'ère de l'internet ceci n'a plus réellement d'importance. Parfois il n'est pas non plus nécessaire d'effectuer un déplacement, s'il s'agit uniquement d'échanger des informations. L'étude de cas suivante concerne l'œuvre de Jana Sterbak (Prague, 1955), *Remote Control II* (1989), conservée au Musée Départemental d'Art Contemporain de Rochechouart. Il s'agissait cette fois d'une crinoline métallique équipée d'un moteur. Celle-ci était utilisée lors d'une performance par une danseuse, qui, au contraire de porter la robe, était portée par celle-ci. La danseuse ou une personne extérieure pouvait ensuite contrôler le mouvement de la crinoline à l'aide d'un joystick. Par cette astuce, l'artiste montre que le corps de la femme lui est retiré, celui-ci échappe à son contrôle. Du point de vue de la conservation, cette crinoline était en mauvais état, et sa partie motorisée ne fonctionnait plus. Nous avons donc effectué son étude, contacté le fabricant des cartes analogiques de commande des moteurs, ainsi que l'artiste au Canada. D'après notre étude, il s'avérait que le système électronique était tout à fait fonctionnel, mais avait été bricolé par des techniciens lors de pannes précédentes, conduisant à sa défaillance. Par chance, nous avons obtenu du fabricant les diagrammes techniques d'origine des cartes, ce qui nous a permis de proposer un rétablissement de l'œuvre dans sa configuration d'origine. Il s'agissait donc de dérestauration, ou déréparation en quelque sorte. Un second pan de l'intervention était lié à la structure de la crinoline, qui posait un problème majeur de stockage et de manipulation, puisque l'œuvre ne passait aucune porte sans être rayée ou déformée. Nous avons donc envisagé le remplacement des rivets (dont plusieurs avaient déjà sauté) par des boulons les plus discrets possible, afin de rendre l'œuvre démontable et assurer ainsi sa bonne conservation. Après l'étude de faisabilité, nous avons proposé notre solution à l'artiste qui n'a pas émis d'objection, au contraire, car l'esthétique de son œuvre n'était pas affectée, ni son concept, et que l'intervention permettrait à nouveau le prêt de son œuvre. Après accord de la commission scientifique, nous avons donc procédé au remplacement des rivets et à la restitution du fonctionnement d'origine de la partie électronique, permettant ainsi de rétablir des conditions de conservation adéquate et de réactiver l'œuvre. La collaboration pour ce sujet était plus subtile, et renvoie à ce que nous évoquions précédemment sur la nécessité de connaître les différents acteurs de la production d'une pièce, mais aussi savoir identifier les éléments techniques, dialoguer avec les bons interlocuteurs, afin de trouver une solution adéquate. Nous avons ainsi pu échapper au remplacement de la partie électronique qui avait été proposé par des techniciens orientés purement sur la *fonctionnalité*, et qui n'auraient donc pas saisi l'aspect historique du matériel analogique d'origine, pleinement visible.

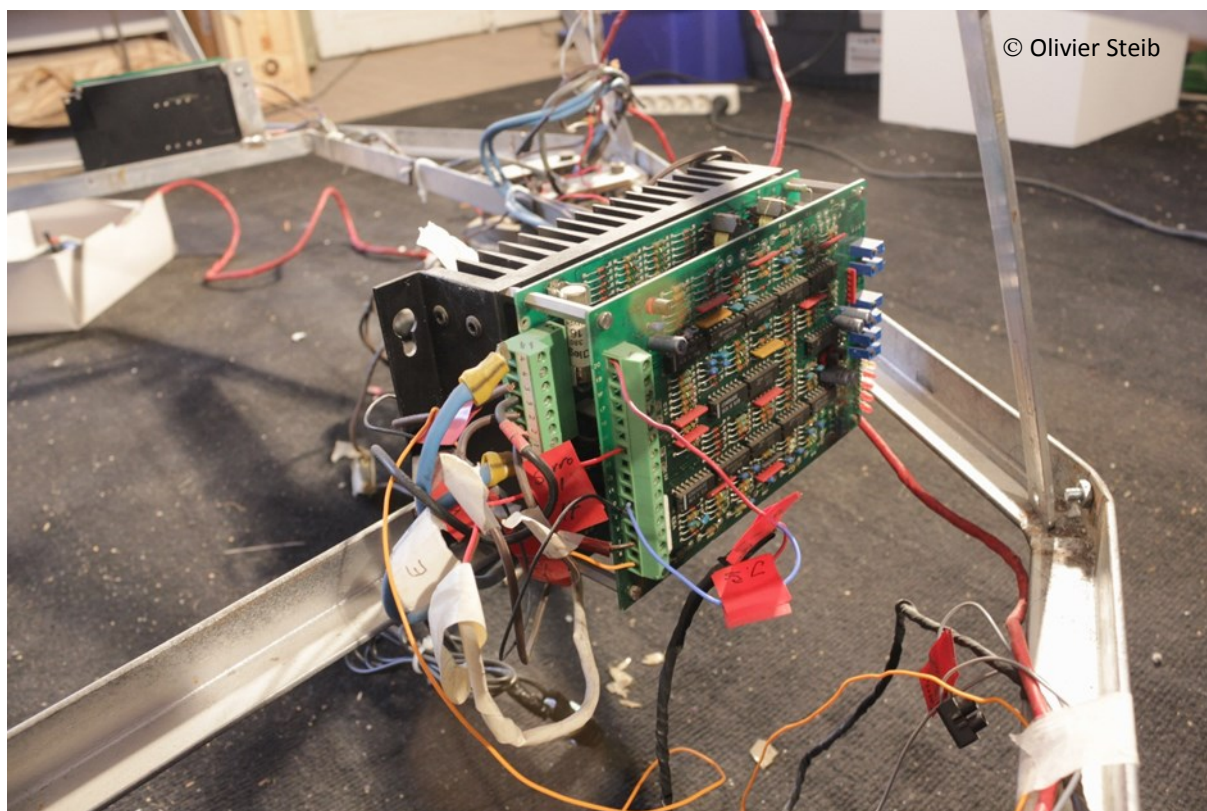
Un dernier exemple de collaboration, avec cette fois-ci la nécessité de travailler en partenariat pour résoudre un problème complexe : la restauration de l'installation vidéo de Pierrick Sorin (Nantes, 1960), *Le visualiseur personnel d'images mentales* (2003), au Musée d'Art Ancien et Contemporain d'Épinal. Cette installation est un « théâtre optique », utilisant l'illusion holographique d'un téléviseur reflété sur un miroir sans tain, dont l'image se superpose à une petite scène de théâtre fabriquée par l'artiste. Ici il y avait 2 téléviseurs cathodiques, rendant la chose très complexe. La pièce de théâtre est muette, et joue l'histoire d'un personnage (Pierrick Sorin) qui utilise une machine lui permettant de voir ses rêves, projetés sur un petit écran cathodique au fond de la scène. La difficulté principale de cette installation était que les vidéos devaient être synchrones à la perfection (étant superposées), et le rester durant toute la journée, tournant en boucle. Or, depuis 2003, il y avait eu des modifications sur cette installation, avec des changements d'écrans (vétustes et obsolètes), des changements de support vidéo (bande, puis DVD, puis USB), et l'apparition de difficultés, dont un décalage croissant des vidéos qui ruinait l'installation. Là encore, nous avons premièrement réalisé une étude préalable afin d'établir une solution crédible et un chiffrage réaliste de l'intervention. Une fois celle-ci acceptée par le musée, nous avons fait appel à un ingénieur pour étudier une solution logicielle à la synchronisation vidéo, car nous avons proposé la modernisation de l'installation. L'artiste avait en effet bien conscience que son système ne pourrait être conservé de façon pérenne avec l'évolution des technologies, et il avait indiqué dans son certificat d'œuvre qu'il donnait son accord pour changer le matériel de diffusion, à l'unique condition que l'image soit respectée. Notre solution a donc consisté à employer un ordinateur programmé pour un démarrage et une lecture automatique des deux flux vidéo en simultané, avec un suivi de la synchronisation pour un rendu optimal (auparavant, deux lecteurs DVD étaient lancés avec une unique télécommande, ce qui était trop léger pour fonctionner sur la durée). L'écran cathodique défaillant a été substitué par un écran plat, dont la configuration a été réalisée scrupuleusement afin d'obtenir le même ratio et la même résolution d'affichage que l'écran précédent. Le petit écran cathodique qui fonctionnait a été conservé, et le système rendu compatible avec lui (il pourra à l'avenir être substitué d'un simple changement de cordon lorsqu'il sera en panne et obsolète). La collaboration était donc nécessaire pour cette intervention, car malgré des connaissances solides en informatique et vidéo, nous n'avions pas la compétence suffisante pour assurer que la programmation soit viable dans le temps, ce qu'un ingénieur peut aisément nous apporter. L'intervention a été réalisée en présence du personnel technique du musée, qui prendra le relais sur le suivi et la maintenance. Le conservateur-restaurateur agit à ce moment en tant que médiateur, et se doit de disposer de pédagogie pour bien expliquer les enjeux et le fonctionnement de l'installation. Un dossier de procédure a ensuite été remis, comportant les éléments nécessaires à l'assimilation du système et au dépannage de l'installation.

Ces trois exemples que nous vous avons sélectionnés permettent d'apprécier l'étendue des connaissances qui sont désormais requises pour le traitement des œuvres « modernes » (entendre à composantes industrielles ou hautement spécialisées), et l'importance de la collaboration des personnes. Cela permet également de comprendre la multiplicité des rôles que doit tenir le conservateur-restaurateur, qui revêt tantôt le casque du chef de travaux, la blouse du scientifique, la cravate du diplomate... Les coopérations entre spécialistes sont certainement enrichissantes : elles apportent beaucoup aux personnes, et veillent par-dessus tout à la qualité des prestations sur les œuvres, ainsi qu'à approfondir leur connaissance, et nous ne pouvons que les encourager.



© Olivier Steib

Figure 1. Détail des néons défailants de l'oeuvre *Ifafa IV*, de Bertrand Lavier, réalisée en 2004 et conservée au MAMC de Saint-Étienne



© Olivier Steib

Figure 2. Détail d'une des cartes de commande de *Remote Control II*, Jana Sterbak, 1989, conservée au MDAC de Rochechouart




© Olivier Steib

Figure 3. Détail de l'installation de Pierrick Sorin, Le visualiseur personnel d'images mentales, 2003, MDAAC d'Epinal

UNE LAMPE À 7 BECS DANS LA COLLECTION GRÉCO-ROMAINE DU MUSÉE DE L'UNIVERSITÉ DE LORRAINE

Marie-Pierre Lambert

Conservatrice-restauratrice, Laboratoire d'Archéologie des Métaux, LAM - Métropole du Grand Nancy

 marie-pierre.lambert@grandnancy.eu

Nicolas Koch

M2 Histoire, Civilisation et Patrimoine, « Mondes Anciens et Médiévaux », SHS Nancy, Université de Lorraine


 nicolas.koch@outlook.fr



Figure 1. Photographie et radiographie de la lampe à huile en bronze à 7 becs

Depuis 2015 la réhabilitation du Musée Archéologique de l'Université de Lorraine est mise en place au sein d'un programme de formation innovante cofinancé par la région Grand Est et l'Université de Lorraine. La restructuration s'articule autour d'un état des lieux, d'une étude de l'inventaire et des collections, leur restauration et un projet muséographique. La collection des bronzes antiques gréco-romains, issue des réserves du musée, est restaurée au Laboratoire d'Archéologie des Métaux (LAM-Métropole du Grand Nancy). L'étude fait l'objet d'un mémoire de Master 1 Patrimoine et Archéologie.

Parmi les trente-quatre objets de cette collection, pour certains exceptionnels comme une copie galvanoplastique de la coupe du Boscoréale ou des reproductions de statuettes grecques du IV^e siècle avant J.-C., figure un autre objet atypique. Il s'agit d'une lampe à huile en bronze à 7 becs avec un *emblema* central sur le réservoir représentant une figure de Silène cerclée d'une couronne de lierre, en rapport avec l'iconographie dionysiaque. La consultation des archives nancéiennes permet de trouver une lampe antique comparable, dans le catalogue du Musée Lorrain de 1887¹. Un objet mentionné dans ce catalogue à la section des bronzes gallo-romains, fait référence à une « lampe à 7 becs, trouvée à Stabia – Collection Beaulieu ». Cependant cette lampe n'apparaît pas dans le dernier récolement du Musée Lorrain², ni à l'inventaire des collections. La provenance de Stabies laisse supposer un ensevelissement contemporain ou antérieur à l'éruption du Vésuve en 79 après J.-C. Cela semble cohérent avec la typologie de la lampe, présentée ci-après. Mais certains éléments techniques et structurels particuliers remettent en

1. Wiener L., *Catalogue des objets d'arts et d'antiquités* (6^e édition). Nancy : R. Wiener (1887) p. 28

2. D'après Pasques B., responsable du service de la documentation du Musée Lorrain.

question l'authenticité de l'objet. C'est pourquoi des analyses ont été menées impliquant plusieurs partenaires.

La typologie permet d'apparenter cette lampe au type IV de Vindonissa³, équivalent au type Deneauve VA^{4,5}, caractérisé par des becs en ogives flanqués de deux volutes à deux boutons. Les datations proposées par ces auteurs diffèrent légèrement mais s'articulent entre le début de la période augustéenne et la fin du I^{er} siècle après J.-C.^{3,5,6}.

Dans l'évolution du traitement des lampes à huile antiques, le médaillon central qui se développe sur le disque du réservoir, est une caractéristique typiquement romaine. Les sujets figurés du type V de Deneauve appartiennent le plus souvent au monde mythologique. Généralement les divinités les plus populaires sont représentées, la thiasse dionysiaque : satyres, silènes et ménades y tiennent une place privilégiée⁷.

Le constat d'état de la lampe, préalable à la restauration, met en évidence un aspect de surface et une couleur de corrosion inhabituels. La patine n'est pas homogène, ou du moins cohérente par rapport aux patines des bronzes antiques, et la surface métallique est grumeleuse. La lampe est décorée de deux têtes de silène l'une sur le médaillon central et l'autre à la base de l'anse. Le modelé de ces décors est d'une réalisation plutôt sommaire, sans grand soin au niveau des détails, autant pour le visage que pour les décors végétaux. Le contour des décors est empâté d'une matière noire. L'anse, grossièrement soudée, est incomplète. Elle se termine par une cassure qui ne présente pas l'aspect caractéristique d'une déchirure ou d'un arrachement du métal. Le pied annulaire est également rapporté par une soudure peu soignée. Il porte également des traces de tournage par la présence de stries concentriques et d'un point de centrage en son milieu⁸. Cette partie est souvent d'un seul tenant avec le réservoir. Les raccords des becs au réservoir sont plus discrets. Les orifices de ces derniers ont des bords francs, tranchants et des sections biseautées. Leur revers et la partie basse du réservoir n'ont pas une surface lisse et homogène mais sont marqués de facettes.

Pour les caractéristiques techniques nous observons l'absence d'ouverture servant à verser l'huile⁹ pour alimenter la lampe et permettre la combustion. L'objet n'est équipé d'aucun autre orifice que ceux des becs. Le réservoir et le médaillon central sont jointifs. Alors que les lampes à huile sont pourvues d'une ouverture ou d'un disque percé d'un orifice permettant le remplissage du réservoir. Fréquemment un second orifice est présent soit sur un bec, le rebord ou le disque et il ferait fonction d'évent.

Ces éléments semblent remettre en cause l'authenticité de la lampe et font apparaître l'hypothèse d'une reproduction. Aussi, outre les moyens d'analyses disponibles au LAM, tels que la radiographie et la microfluorescence X du Laboratoire de Métallurgie et Cultures de l'IRAMAT, nous avons sollicité l'assistance d'autres partenaires : la polyclinique de Gentilly pour une endoscopie permettant d'explorer l'intérieur du réservoir ; l'Institut Jean Lamour de l'Université de Lorraine pour une analyse élémentaire au microscope électronique à balayage et l'avis de deux spécialistes des bronzes antiques.

La radiographie montre un métal parsemé de taches blanches qui sont des zones plus denses. D'autres zones blanches apparaissent : le pied annulaire, l'anse et une zone en croissant dans la partie opposée à l'anse. Les zones denses peuvent être liées à d'importantes épaisseurs de métal, des dépôts à l'intérieur du réservoir ; ou bien dans le métal, des amas liés à la cristallisation du plomb de l'alliage.

3. Bruneau P., *Les lampes. Exploration archéologique de Délos XXVI*. Paris : Édition de E. Boccard (1965) 115-116

4. Deneauve J., *Les lampes de Carthage*. Paris : Éditions du CNRS (1969) p.80

5. Rivet L., Lampes à huile et céramiques à parois fines de l'atelier de potiers gallo-romain de l'agglomération portuaire de Fos-sur-Mer (Bouches-du-Rhône). In: *Revue archéologique de Narbonnaise*. Tome 37, (2004) 233-257

6. Deneauve J., *Les lampes de Carthage*. Paris : Éditions du CNRS (1969) p.126

7. Deneauve J., *Les lampes de Carthage*. Paris : Éditions du CNRS (1969) p.95

8. Santrot J., Derion B., Dupuis X., Fincker M., Guibert P., Bronzes et fers de Dax, Landes : La cachette d'un antiquaire-restaurateur au IV^e s. après J.-C. In: *Gallia*, tome 53 (1996) 251-343 - fig. 36 et 37, Dax 14

9. Deneauve, J., *Les lampes de Carthage*. Paris : Éditions du CNRS (1969) p.79

L'endoscopie, réalisée à la polyclinique de Gentilly, a permis de réaliser des prises de vue à l'intérieur du réservoir. Elles montrent un dépôt grisâtre qui tapisse l'intérieur et révèlent deux agrafes de fixation de l'anse.

La microfluorescence X réalisée au LAM sur l'alliage cuivre de la lampe donne un bronze quaternaire avec 70 à 80 % de cuivre, 7 à 15 % de zinc et de plomb et 4 % d'étain. L'analyse du dépôt dans le réservoir donne un résultat de cuivre, zinc et plomb à des taux d'environ 30 % chacun et 5 % d'étain. Ce résultat pourrait expliquer les zones blanches et denses qui apparaissent à la radiographie, la teneur en plomb du dépôt faisant écran au rayonnement.

Nous avons aussi sollicité l'Institut Jean Lamour de l'Université de Lorraine pour réaliser une analyse élémentaire au microscope électronique à balayage (MEB) du dépôt dans le réservoir. Les prises de vues obtenues au MEB donnent des images typiques de cristaux de corrosion. Les métaux en présence sont le zinc (20 à 30 %), le cuivre (8 à 16 %) le plomb (5 à 14 %). Les autres éléments sont l'oxygène (25 à 30 %), du calcium (12 à 20 %), du soufre (3 à 10 %). Leur présence est liée aux produits de corrosion. L'analyse ne détecte pas de carbone, ce qui indiquerait l'absence de composé organique. Nous avons en effet pensé que le dépôt aurait pu être lié à des résidus organiques des huiles que la lampe aurait pu contenir.

L'absence de documentation archéologique et d'objet authentique comparable laisse en débat la question de l'authenticité de cette lampe à 7 becs. Le style correspond aux typologies de référence : becs en ogive à volutes, décor de têtes de silènes, pied annulaire. La radiographie montre les assemblages des différentes parties qui sont cohérents avec les techniques de fabrication antiques. Les analyses élémentaires donnent le résultat d'un bronze quaternaire, alliage en usage aux périodes antiques.

Les indices atypiques sont dans les détails : l'aspect de surface, l'absence de patine homogène, les galbes des becs en ogives marqués de facettes, les dépôts noirs qui empâtent les décors. Mais surtout l'incohérence de cette lampe réside dans « sa mise en fonction impossible », sans orifice dans le médaillon comment remplir le réservoir, sans évent comment permettre la combustion ? Le médaillon central était-il amovible ? Pourquoi est-il soudé par un dépôt noir ?

Mentionné au catalogue du Musée Lorrain de 1887, quel a été le parcours de cet objet avant son acquisition, et par la suite comment a-t-il intégré les collections du musée de l'Université de Lorraine ? La provenance de Stabies, imprécise et non vérifiée, les incohérences sur l'usage de cette lampe peuvent mener à l'hypothèse d'une copie ou d'une contrefaçon.

Remerciements

Sandrine Huber, professeur d'archéologie et d'histoire de l'art des mondes classiques. HALMA – UMR 8164 (CNRS, Univ. Lille, MCC) Université de Lille

Pascal Vipard, maître de conférence en Antiquités Nationales

Docteur Simon, Katia Liévremont, Christine Stempfelf, Frédéric Boudier, Franck Vanlangendonck, et toute l'équipe de la Polyclinique de Gentilly- Nancy

Christine Gendarme, Institut Jean Lamour, Université de Lorraine


Sophie Descamps conservateur général du patrimoine au musée du Louvre

Benoit Mille ingénieur d'étude au Centre de Recherche et d'Etude des Musées de France.

DES COMPÉTENCES PLURIDISCIPLINAIRES AU SERVICE DE LA COMPRÉHENSION DES ŒUVRES


Loretta Rossetti

Conservateur-restaurateur métaux au laboratoire GPLA– Arc'Antique

 Loretta.Rossetti@Loire-Atlantique.fr

Charlène Pelé-Meziani

Ingénieur d'études - responsable adjointe du laboratoire GPLA- Arc'Antique

 Charlene.Pele-Meziani@loire-atlantique.fr

La majorité des œuvres qui arrive au laboratoire Arc'Antique a pour vocation d'être restaurée. Certaines d'entre elles peuvent susciter des interrogations venant à modifier ou limiter les interventions initialement prévues. Le laboratoire Arc'Antique, de par sa spécificité regroupant dans le même lieu recherche et restauration, peut mener des actions coordonnées entre différents acteurs : conservateurs – restaurateurs – scientifiques.

Il s'agit parfois de donner des réponses ponctuelles pour venir en aide à la restauration ou pour comprendre un état de la matière. D'autres cas demandent des réflexions plus profondes nécessitant l'implication de spécialistes dont les compétences pluridisciplinaires viennent compléter les études. Ces réflexions conditionnent très largement les interventions des restaurateurs.

En 2014, des fouilles ont été conduites dans l'abbaye médiévale Notre-Dame à Nanteuil-en-Vallée (Charente) pendant lesquelles des vestiges appartenant à un abbé ont été exhumés d'une sépulture. Parmi les éléments métalliques présents, on pouvait distinguer des éléments en alliage cuivreux faisant partie d'une crosse : l'objet principal (le crosseron), deux anneaux plats, une petite chaînette, un embout et enfin un clou en fer. Une céramique y était associée ainsi que des restes organiques. Le caractère exceptionnel d'une telle découverte a amené le SRA Poitou-Charentes à envisager le traitement de conservation-restauration de ces vestiges qui a débuté en septembre de la même année.



© Arc'Antique

Figure 1. Photographies de l'objet, avant et après restauration

La restauration a révélé une complexité matérielle insoupçonnée sous un dépôt argileux qui recouvrait toutes les surfaces. Des observations et des analyses ont alors été menées afin de mieux apprécier les matériaux constitutifs, la technologie de mise en forme et les phénomènes de corrosion liés à l'enfouissement. Pour cela, plusieurs spécialistes ont été interrogés : anthropologue, géologues, archéologues et conservateurs.

Le dépôt argileux

Les vestiges sont rentrés au laboratoire recouverts d'une épaisse couche de sédiments qui occultait totalement les surfaces. Celle-ci se matérialisait sous forme de plaques fines, fissurées sous l'effet d'un dessèchement ou sous la forme de picots hérissés, tous orientés dans le même sens. L'observation des photos de fouille a permis de vérifier qu'ils étaient orientés vers le bas, de façon plus ou moins perpendiculaire au sol (Figure 2).

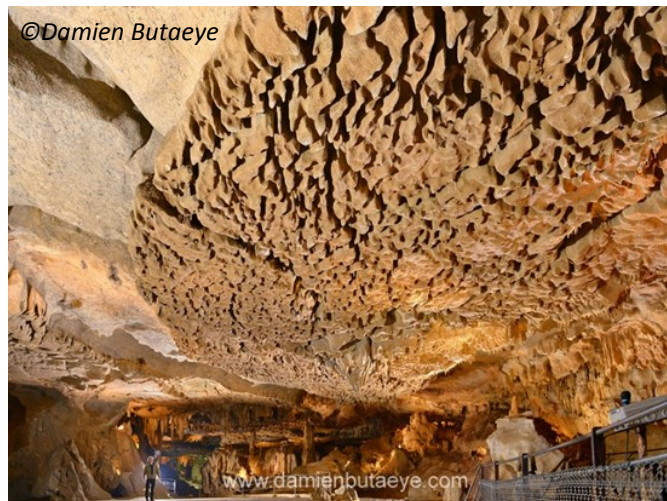


Figure 2. Image du lapiaz de voûte au plafond de la grotte de Bétharram (65), aux formes évocatrices

D'après les premières observations réalisées par Fabienne Médard (Anatex), cet aspect pouvait suggérer l'empreinte d'un élément structuré de type textile laissant penser à une empreinte d'un matériau entièrement disparu (Figure 3). Pourtant aucune structure dite orthonormée n'était apparente. Il a donc été supposé la présence d'une fourrure dont les interstices entre les poils auraient été comblés par le sédiment. Mais cette hypothèse est devenue caduque au regard de la finesse avec laquelle ces formations épousaient les reliefs ; la fourrure n'aurait pas été aussi « ajustée ». Par la suite, l'idée d'une formation liée aux conditions environnementales a été privilégiée. L'orientation et la densité de ces picots d'argile peuvent en effet résulter du mouvement de l'eau au moment du retrait d'un possible courant d'air agissant sur l'argile encore fraîche.

Laurent Dujardin (Université de Caen), Damien Butaeye (professionnel indépendant) et Yves Bodeur (Université de Nantes), géologues, ont évoqué la possibilité d'une érosion provoquée par un mouvement d'eau sous pression du bas vers le haut qui aurait dissous une éventuelle composante calcaire présente dans l'argile.

Si nous créditons cette hypothèse, il y aurait donc eu, dans un premier temps, le remplissage de la sépulture par l'eau, entraînant l'argile de l'extérieur de la sépulture et qui se serait déposée sur toutes les surfaces. Ensuite, l'eau a pu dissoudre partiellement le mortier calcaire utilisé pour maçonner le caveau et une partie de ce calcaire dissous s'est redéposée, cimentant le dépôt argileux. Dans un deuxième temps, une ou plusieurs immersions suivies de lents reflux auraient permis de creuser le dépôt argileux, en formant ces éléments pointus. D'autres observations réalisées par Patrick Bouvart, archéologue chez Hadès, corroborent cette hypothèse : « *les connexions anatomiques et la taphonomie de la tombe favorisent l'idée d'une circulation lente et progressive de l'eau (i.e. pas ou peu de mouvement des os les plus légers)* ».

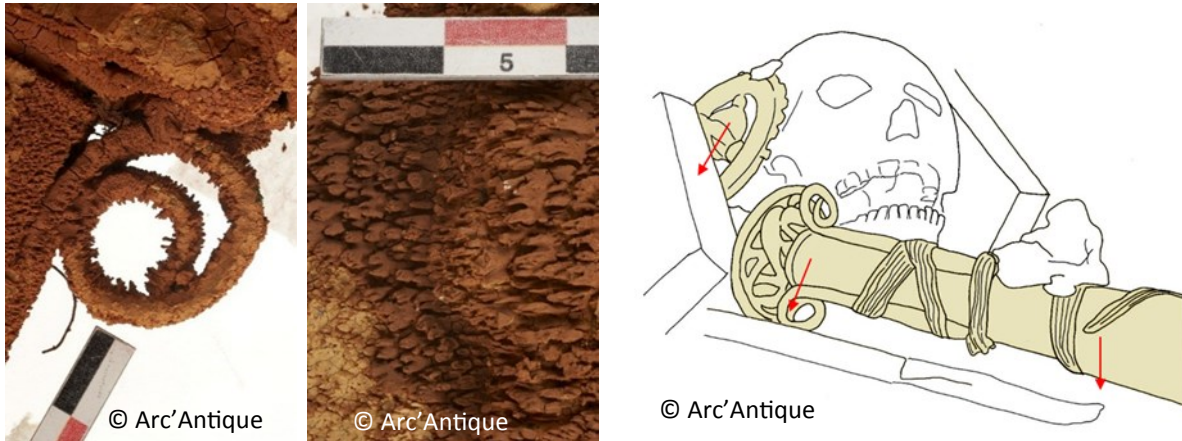


Figure 3. Images des dépôts sédimentaires en forme de « picots » ; Schéma précisant la direction des « picots » selon le positionnement du crosseron dans la tombe

Les restes organiques

L'objet conserve des restes organiques tels que des morceaux du bois de la hampe et des vestiges d'une sorte de ruban visibles à partir de la collerette jusqu'à la deuxième douille.

Fabienne Médard, intervenue avant la restauration du crosseron, a rendu compte de ses observations et de ses analyses sur les matières organiques conservées en surface dans son rapport de 2014. Ce rapport précise l'identification des lanières non tissées en fibres libériennes de tige dont l'origine exacte n'est pas appréciable (lin, chanvre ou ortie). Celles-ci pouvaient former un ruban non filé, non tissé aux reflets soyeux et à la couleur claire. Quelques zones, sur lesquelles une substance noirâtre a été identifiée, pourraient provenir de la décomposition du corps.

Fabienne Médard précise l'agencement des lanières : enroulées autour de la partie inférieure du crosseron. Compte tenu de la présence de croisements, il est probable qu'une lanière pliée en deux ait été employée, se croisant autour de l'axe à intervalles plus ou moins réguliers.

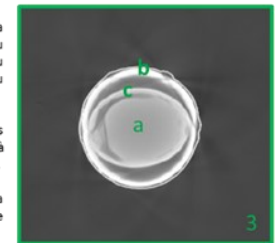
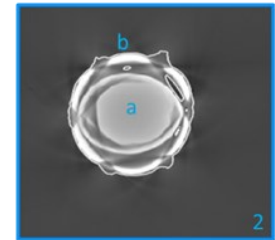
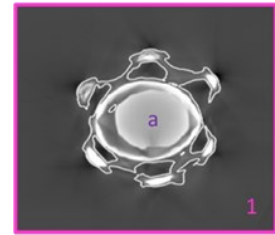
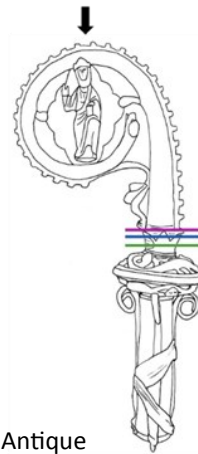
Les fils métalliques repérés sur la surface du crosseron n'existent nulle part ailleurs. Ils ont été identifiés comme étant constitués d'une lamelle d'or enroulée autour d'une âme disparue.

Leur désorganisation et surtout l'absence de lien avec le support auquel ils adhèrent suggèrent qu'ils n'appartiennent pas au crosseron, mais résultent d'une préservation résiduelle et fortuite d'un élément textile de proximité.

Les observations du bois de la hampe ont été réalisées par Nima Saedlou, xylologue (XyloTree). Ces dernières ont permis de l'identifier comme étant potentiellement du frêne.

Des restes de couleur bleue intense, sous forme d'amas pulvérulents, repérés sur la hampe, ont aussi interpellé Fabienne Médard. Il peut s'agir de motifs réhaussés en bleu aux côtés d'autres couleurs différentes ou d'un bois uniformément peint en bleu sur l'ensemble de sa longueur. Aucune autre couleur n'a pour autant été repérée. Nous n'avons pas approfondi les analyses sur ces restes, notamment pour rechercher les éventuels restes d'un liant. Il demeure difficile de se prononcer avec certitude sur l'existence d'une hampe en bois peinte en bleu. Les analyses effectuées par microscope électronique à balayage couplée à un spectromètre à énergie dispersive (MEB-EDS) et en diffraction des rayons X (DRX) ont bien mis en évidence la présence de cuivre, mais elles n'ont pas permis d'affirmer qu'il s'agissait d'une coloration volontaire plutôt que d'un produit de corrosion du cuivre déposé fortuitement sur ces fragments.

coupes transversales



© Arc'Antique

1- La première photo se situe au niveau des points de la collerette, juste au-dessous du tenon qui fixe les deux coques du crosseron (vu précédemment). Ici, la jonction des deux coques du crosseron est rendue plus visible par l'écrasement des côtés, Au centre, on voit une masse interne dense, plus ou moins ovale (a).

2- Quelques millimètres plus bas. A l'extérieur, les épaisseurs des pointes sont logiquement plus larges et plus rapprochés(b), à l'intérieur du crosseron, la masse sombre (a) est toujours présente.

3- La troisième photo est pratiquée à la base de la collerette (b) : la section ovale du crosseron est encore visible (c), ainsi que la masse dense interne (a).

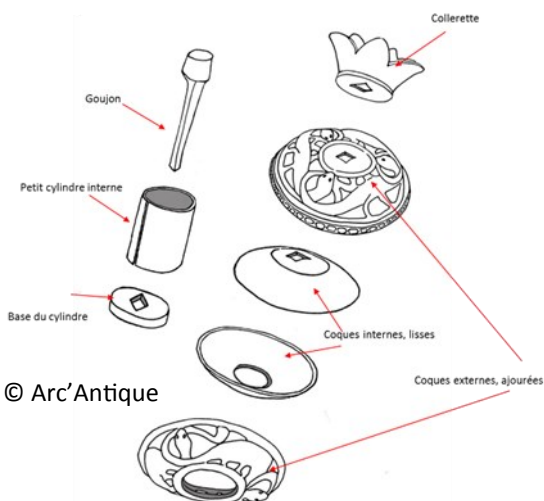
Figure 4. Exploitations des données relevées en tomographie de la zone entre le crosseron et le nœud

Les questions de l'assemblage

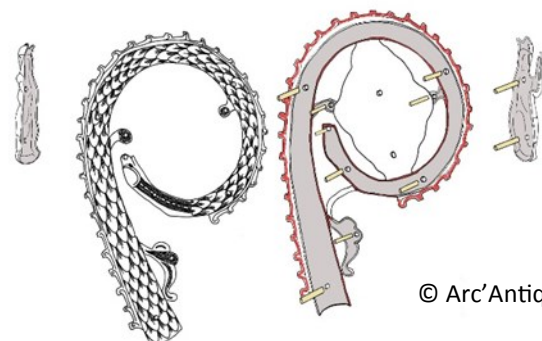
Des investigations ont été conduites afin d'étudier l'assemblage des éléments constitutifs du crosseron et d'avoir une idée du degré de minéralisation du métal. Pour cela, la combinaison de différentes techniques d'imagerie a été utilisée. Les radiographies ont été effectuées au laboratoire Arc'Antique par Jean-Gabriel Aubert, photographe-radiologue (Arc'Antique). La photogrammétrie avant restauration a été élaborée par Jean-Gabriel Aubert et Stéphane Jupin, ingénieur (Services 3D) alors que celle après restauration a été effectuée par Carl Colonnier, photographe-photogrammètre (Arc'Antique). Enfin la tomographie du crosseron a été effectuée par Gaël Bourbouze, responsable ingénierie (Centre de ressources techniques, Morlaix) (Figure 4).

Grâce à ces moyens et aux compétences pluridisciplinaires associées, il a été constaté que le crosseron est un objet constitué par une vingtaine de pièces cuivreuses, creuses, assemblés en partie par soudure et en partie de façon mécanique (rivets, clous, tenon) (Figure 5).

Les épaisseurs du métal sont considérées comme étant faibles car il s'agit dans l'ensemble d'une forme creuse, à quelques exceptions près. Le métal est parfois totalement minéralisé, ce qui le rend plutôt fragile.



© Arc'Antique



© Arc'Antique

Figure 5. Hypothèses d'assemblage du nœud (à gauche) et de la volute (à droite)

Le métal de base, la dorure et la typologie des produits de corrosion

Les analyses ont été réalisées conjointement avec Loretta Rossetti, restauratrice en charge de la restauration (Arc'Antique), Charlène Pelé-Meziani, ingénieur d'études en charge des analyses (Arc'Antique) et l'institut des matériaux de Nantes (IMN) permettant l'accès aux équipements d'analyses.

Le métal de base pour les éléments constitutifs a été analysé comme étant un cuivre presque pur. Seul l'embout a une composition différente (alliage Cu/Sn/Pb) ce qui nous porte à croire que ce dernier a été obtenu par coulée, alors que les autres ont été mis en forme par déformation plastique.

Le nettoyage des surfaces a mis en évidence des facies de corrosion particuliers qui nous ont amené à réaliser des analyses et des investigations plus poussées dans le but de comprendre la perte ou la faible adhérence de la dorure au support métallique. Les analyses ont démontré l'utilisation d'une dorure à l'amalgame par la présence de mercure.

L'épaisseur très mince de la dorure, de 1µm à quelques dizaines de µm (et donc sa porosité) (Figure 6), a permis la diffusion des ions cuivre et la formation d'une couche de produits de corrosion au-dessus de celle-ci. Avant nettoyage, la dorure se trouvait donc le plus souvent prise en sandwich entre deux couches de produits de corrosion du cuivre ; elle était faiblement accrochée au support et tendait à se décoller avec les produits de corrosion, ce qui explique les difficultés rencontrées pendant la restauration de l'objet.

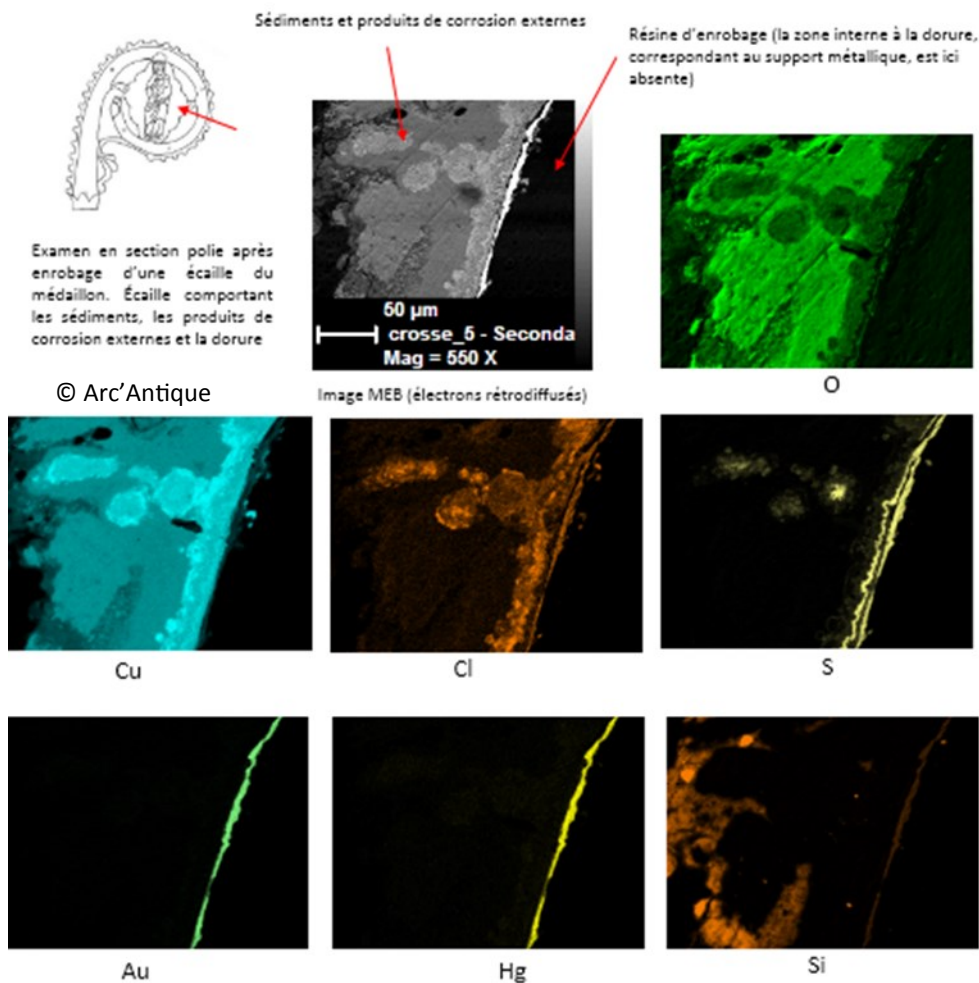


Figure 6. Analyses MEB-EDS du médaillon

Luc Robbiola, ingénieur de recherche (laboratoire TRACES - Université Toulouse Mirail), a apporté son aide quant à la compréhension des stratigraphies et des mécanismes de corrosion. Le confinement de l'objet dans la sépulture, au contact d'un corps en décomposition, peut expliquer les facies de corrosion observées, dont la présence d'espèces soufrées est si caractéristique¹. La corrosion du métal de base a aussi entraîné la formation d'oxydes et de carbonates de cuivre, ainsi que localement, des chlorures de cuivre.

Les analyses complémentaires des objets annexes

Enfin, la présence dans la sépulture d'un vase en céramique dont le contenu a révélé la présence de matières grasses d'origine animale et végétale ainsi que du vin blanc et de la résine de conifère, ouvre à d'autres considérations concernant les pratiques d'inhumation. Ces analyses ont été réalisées par le laboratoire Nicolas Garnier en 2016.

Conclusion

Les échanges pluridisciplinaires ont permis, dans ce cas, l'étude approfondie d'un objet complexe et singulier. En effet, il est relativement rare de pouvoir étudier un objet d'art sacré « brut de fouille », car souvent ce sont des pièces qui traversent le temps tout en étant utilisées et qui subissent maintes interventions (réparations, nettoyages, réaménagements etc.) qui en modifient l'aspect.

Heureusement, cette crose a été scellée dans une sépulture qui date des années proches de sa fabrication et nous permet donc des observations peu courantes.


Chaque avancement dans les observations et les analyses pouvaient compléter les réflexions de chacun, ce qui a enrichi pleinement l'étude de cet objet.

1. Cf. Anthropologues et médecins légistes contactés :
Dr Philippe Charlier, univ. Paris Descartes, univ. Versailles- Saint Quentin-en-Yvelines.
Pr Henri Duday, univ. Bordeaux
Pr Laurent Martrille, CHU Nancy
Pr. Eric Crubézy, univ. Toulouse 3 Paul Sabatier

LA ROSE DE LA CATHÉDRALE DE SOISSONS : APPORTS DES ÉTUDES MATÉRIELLE ET STRUCTURALE À LA COMPRÉHENSION DE SON HISTOIRE

Aurélia Azéma

Ingénieur d'études - Métal, Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques (LRMH), CRC-USR3224

 aurelia.azema@culture.gouv.fr

Lise Leroux, LRMH

Ann Bourges, LRMH

Eric Merlin, BET UCB ingénierie

Bruno Demathelin, BET Cabinet Bancon

Camille Bretas, Architecte du patrimoine, agence Olivier Weets architecte

Résumé

La façade occidentale de la cathédrale Saint-Gervais-et-Saint-Protais de Soissons (Aisne) a subi de graves dommages lors de la tempête Egon survenue le 12 janvier 2017. La partie centrale de la rose a été projetée vers l'intérieur de l'édifice, éparpillant vitraux, armatures et éléments de remplage en pierre sur l'orgue et ses alentours.

Une équipe multidisciplinaire a été constituée autour du cabinet de l'architecte en chef des monuments historiques, Olivier Weets, à qui le diagnostic a été confié. L'objectif était d'établir un état historique et sanitaire de la rose afin, d'une part, de mieux comprendre les raisons qui ont contribué à sa chute et, d'autre part, de concevoir un projet de restauration adapté.

En début 2018, la rose a entièrement été « remontée » à plat dans la nef de la cathédrale afin de permettre à chaque intervenant de travailler dans les conditions les plus adaptées.

Dans un premier temps, l'identification de la nature des pierres en œuvre, l'examen des ensembles d'armatures des vitraux ainsi que des systèmes de scellements des remplages, confrontés aux données issues des sources historiques (étude effectuée par Grahal) ont abouti à une lecture de l'histoire matérielle de la rose, rythmée par les différentes interventions majeures de réfection. Chaque élément a pu ainsi être associé à une étape de son histoire : les plus anciens, ceux qui ont été réutilisés et ceux ajoutés en remplacement.

Ensuite, la nécessité d'effectuer une modélisation de la structure, calculée à partir des dimensions des divers éléments, ainsi que de paramètres pétrophysiques et caractéristiques mécaniques en fonction des matériaux identifiés, a pu être satisfaite grâce à ces différentes identifications matérielles préalables, et à l'évaluation de l'état de conservation des éléments de la rose.

Les aboutissants de ce diagnostic constitueront le vecteur du processus de restauration qui sera défini pour la façade occidentale de la cathédrale de Soissons, conduisant ou non au maintien en œuvre de la rose.

Contexte

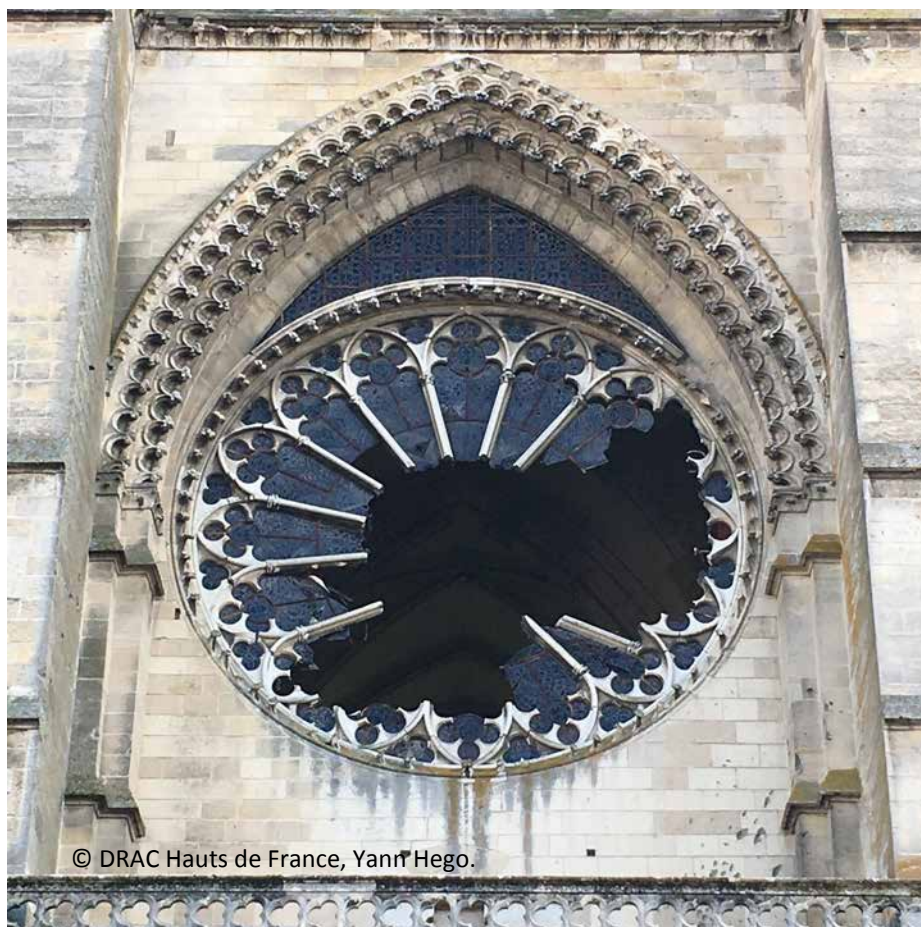
La façade occidentale de la cathédrale Saint-Gervais-et-Saint-Protais de Soissons (Aisne) a subi de graves dommages lors de la tempête Egon survenue le 12 janvier 2017 (Figure 1). La partie centrale de la rose a été projetée vers l'intérieur de l'édifice, éparpillant vitraux, armatures et éléments du remplage en pierre sur l'orgue et ses alentours. Une équipe multidisciplinaire a été constituée autour du cabinet de l'architecte en chef des monuments historiques, Olivier Weets, à qui l'étude de diagnostic a été confiée :

- Grahal R&E spécialisé dans la recherche et les études historiques ;
- BET Structures UBC et le Bureau Michel Bancon, chargés des études de structures ;
- L'atelier Berthelot associé à Bénédicte Lacheré, pour l'expertise sur l'état de conservation des vitraux ;
- Le cabinet Philippe Votruba, intervenant dans le cadre de l'étude rapportée à l'économie de la construction ;
- Le LRMH, pour son expertise dans le cadre du contrôle scientifique et technique de l'État.

L'objectif était d'établir un état historique et sanitaire de la rose afin d'une part de mieux comprendre les raisons qui ont contribué à sa chute et, d'autre part, de concevoir un projet de restauration adapté.

En début 2018, un remontage à plat de la rose a été simulé dans la nef de la cathédrale afin de permettre à chacun des intervenants de travailler dans les conditions les plus adaptées (Figure 2).

Cet article rend compte des principaux aboutissements de cette étude résultant du travail collaboratif produit par les différentes compétences impliquées.



© DRAC Hauts de France, Yann Hego.

Figure 1. État de la rose de la cathédrale Saint-Gervais-Saint-Protais de Soissons, à la suite du passage de la tempête Egon le 12 janvier 2017



Figure 2. Remontage à plat de la rose de la cathédrale de Soissons (Aisne)

Description de l'ouvrage

La grande rose occidentale de la Cathédrale Saint-Gervais-Saint-Protais de Soissons est composée de seize lancettes disposées autour d'un œil central et fermées par un cercle périphérique clavé. Dans cet exemple primitif, le vide apparaît aussi bien dans l'axe vertical que dans l'axe horizontal de la composition à Soissons, contrairement à d'autres ouvrages analogues construits à partir du XIII^e siècle. Les lancettes sont séparées par des colonnettes dont les bases sont disposées autour de l'œil central, et les chapiteaux sont tournés vers le cercle périphérique extérieur. Les colonnettes jouent ainsi un rôle d'étrésillonement entre le cercle de l'œil central et le cercle périphérique. Les claveaux du cercle périphérique, recevant en premier les charges permanentes, sont plus épais que les remplages intérieurs, ils font environ 85 cm d'épaisseur, tandis que les remplages font seulement 26 cm, ce qui allège considérablement le poids de la structure. L'œil central, qui subit une grande pression des charges climatiques, est cependant à peine plus épais que les remplages et mesure quant à lui 29,5 cm d'épaisseur. Côté intérieur, le profil des colonnettes est plat, dépourvu de feuillures, facilitant ainsi la pose et la visibilité des panneaux de vitraux. Côté extérieur, les remplages sont dégagés dans toute leur épaisseur, produisant ainsi en façade des jeux d'ombre et de lumière. Il y a lieu de signaler qu'il n'existe pas de réseau secondaire dans la composition des rayons en pierre, ce qui laisse aux panneaux de vitraux des grandes surfaces à remplir. Ils sont fixés uniquement à l'aide d'une barlotière centrale et des pannetons périphériques scellés à même la pierre, sur lesquels reposent les panneaux de vitraux. Cette composition apporte dans son ensemble une grande élégance et légèreté à l'ouvrage. Cependant les parties vitrées d'une surface non négligeable ont une incidence dans la rigidité de l'ouvrage.

Les grands états de la rose

La construction de la cathédrale est située entre le premier quart du XIIIe et le début du XIVe siècle. L'achèvement du massif occidental, et donc de la rose, se situe quant à lui au milieu du XIIIe siècle. Cette période correspond à l'état zéro de la rose. Jusqu'au début du XIXe siècle, il n'existe *a priori* pas de documents faisant référence à des transformations majeures de cette partie de l'édifice. Cependant, vers le milieu du XIXe siècle, un panneau de l'ensemble du vitrail en place (situé dans le jour de l'arc brisé qui surmonte la rose) aurait été identifié comme datant du XVIe siècle. Ce constat pourrait signifier soit d'un réemploi de vitraux anciens au début du XIXe siècle ou alors témoigner d'interventions plus anciennes dès le XVIe siècle.¹ En 1815, un ouragan suivi de l'explosion de la poudrière du bastion Saint-Rémy, situé à proximité de la cathédrale endommage les vitraux et vraisemblablement une partie de la maçonnerie. En 1817, les travaux de restauration aboutissent à l'état 1 de la rose, comprenant des modifications architecturales telles que la mise en place de nouveaux vitraux et de leur serrurerie. Lors de la Première Guerre Mondiale, la rose est significativement endommagée pour la deuxième fois. Les travaux réalisés ensuite conduisent à l'état 2 de la rose : une partie de la maçonnerie est de nouveau restaurée, et les vitraux datant du XIXe siècle sont déposés et remplacés par une nouvelle création en 1930. La rose est atteinte pour la troisième fois lors de la tempête Egon en 2017, engageant des travaux de restauration vers un état 4.

La pierre de la rose

Les descriptions pétrographiques des pierres observées dans la rose de la façade occidentale de la cathédrale de Soissons correspondent aux pierres qui affleurent à proximité de Soissons, connues pour avoir été mises en œuvre dès l'origine dans la construction de la cathédrale, ainsi qu'aux carrières citées dans la documentation consultée par le bureau d'étude Grahal.²

La pierre de Crouy mise en œuvre à l'origine et lors des restaurations de Brunet, contenant *Ditrupa strangulata* (des fossiles de petits tubes formés par un vers polychète), est présente dans le pourtour de la rose, ornementé de crochets ; c'est une pierre assez tendre. Les éléments déposés et observés à l'occasion du remontage à blanc dans la nef de la cathédrale sont quant à eux tous en pierre dure (Figures 3 et 4).

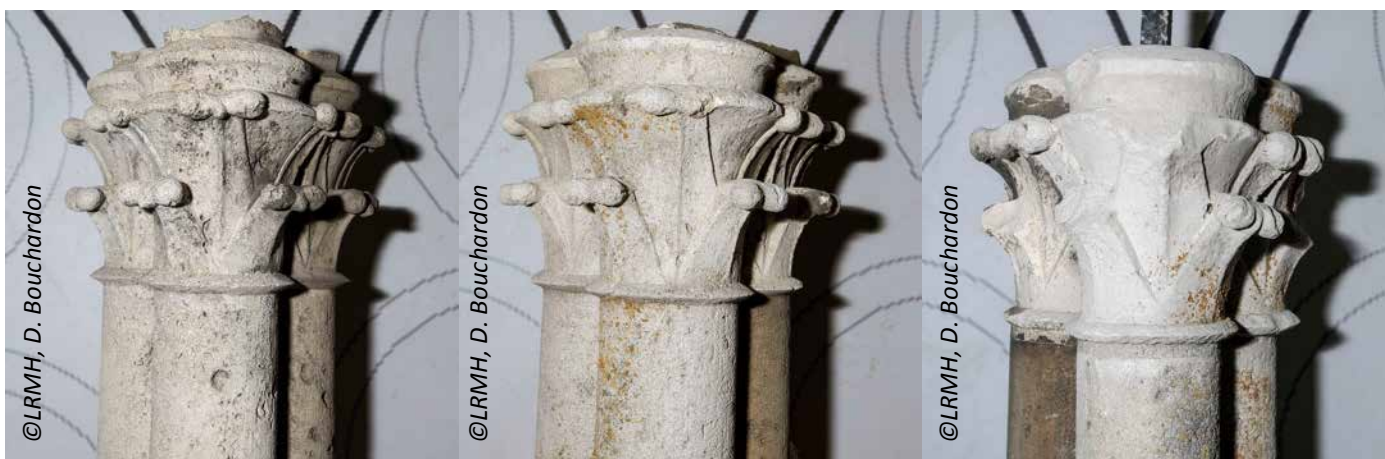


Figure 3. Éléments de remplage de type colonnette déposés de la rose de la façade occidentale de la cathédrale Saint-Gervais-Saint-Protais de Soissons (02) - à gauche remplage en calcaire dur coquiller de type Laversine – au milieu, chapiteau en calcaire de type Saint-Pierre-Aigle fin et dur – à droite, chapiteau en calcaire de type Saint-Pierre-Aigle à grain grossier. ©LRMH, D. Bouchardon

1. Riboulleau Ch., Plouvier M., *La cathédrale Saint-Gervais-Saint-Protais de Soissons*, Inventaire général du patrimoine de la région Hauts-de-France, (2006) Documentation en ligne. <https://inventaire.hautsdefrance.fr/dossier/la-cathedrale-saint-gervais-saint-protais-de-soissons>, consulté le 29/11/2018.

2. Rapport GRAHAL, 2017. *La cathédrale Saint-Gervais-Saint-Protais (Soissons) : grande rose et massif ouest, Étude historique et documentaire*, Borjon M. (Direction), Vin D. (responsable d'étude), Dujon-Attali C. et Bouffard-Veilleux M. (recherche et do-

Les lithotypes observés peuvent être classés dans trois catégories dont les deux premières proviennent certainement de la même carrière :

- calcaire de type Saint-Pierre-Aigle à grain fin,
- calcaire de type Saint-Pierre-Aigle à grain plus grossier et plus coquiller,
- calcaire de type Laversine, identifiable par son grain grossier et la présence de nombreux macrofossiles parmi lesquels des cérithes silicifiés.

Les données pétrophysiques trouvées dans la documentation conservée au LRMH indiquent des valeurs parfois très différentes, avec des intervalles variables selon la propriété physique considérée. C'est pourquoi des analyses pétrophysiques ont été réalisées à partir de carottages effectués sur les deux principaux types de pierre composant le remplage.^{3,4} L'étude a montré que les propriétés mécaniques des deux types sont relativement proches, ce qui ne gêne *a priori* pas leur association en maçonnerie. En termes d'altération, les pierres du remplage de la rose présentent des fractures en plusieurs points, des ragréages et des agrafes témoignent de réparations antérieures.

Le métal de la rose

Le métal est employé dans la rose d'une part pour l'élaboration des goujons reliant les différents éléments de remplage et d'autre part dans la serrurerie des vitraux.³

Trois grands types de goujons ont été repérés sur la rose ; certains sont en cuivre de section carrée (L = 8-10 cm, l = 2 cm), d'autres sont en laiton de section circulaire (L = 6 cm, D = 1,5 cm) et il existe des goujons en fer de section carrée (L < 10 cm, l = 1,5 cm) dont l'état de corrosion est, dans la plupart des cas, très avancé.

En termes de serrurerie des vitraux, nous nous intéressons plus particulièrement aux pannetons, pièces métalliques perpendiculairement scellées aux éléments de remplage, sur lesquelles reposent les panneaux de vitraux (Figure 4). Ils sont percés d'une fente dans laquelle une autre pièce métallique, la clavette, est insérée pour maintenir le feuillard en place ; ce dernier est un fer plat qui vient se plaquer contre les panneaux de vitraux posés sur le remplage.

Au premier abord, on distingue deux types de pannetons en fer, différents de par leur forme et leur mode de scellement : les pannetons à l'arête sommitale arrondie scellés au plâtre (nommés P1) et les pannetons trapézoïdaux scellés au ciment de Portland (nommés P2). Ces deux types, répartis sur l'ensemble de la rose, étaient utilisés dans le système de serrurerie en place et en fonction sur la rose en 2017. De plus, sur quelques éléments de maçonnerie, on observe des restes d'anciens emplacements de pannetons en fer scellés au plomb et coupés au ras de la surface (nommés P0). Ils témoignent sans aucun doute d'un système d'armature (et donc d'un ensemble vitraux) antérieur et vraisemblablement d'origine (Figure 4).

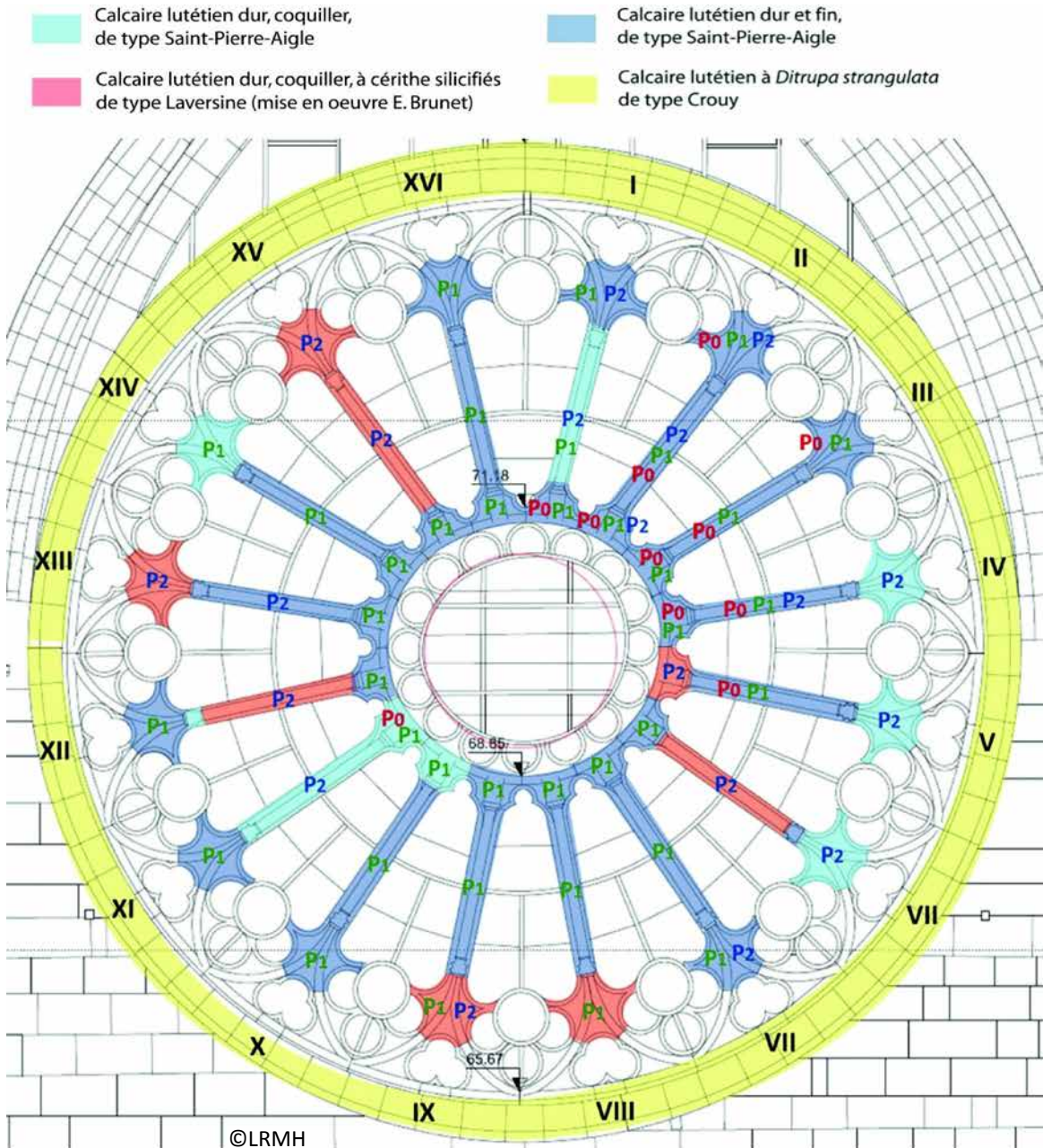
Relecture de son histoire matérielle

Les recherches conduites au sein des archives fournissent de nombreuses données qui nous permettent de corréler l'emploi des matériaux et de leur mise en œuvre précédemment décrits, avec les différents états historiques de la rose.

D'abord, les pannetons P1 et P2 coexistent sur le même système d'armature. Mais le ciment de Portland a été employé lors de la restauration du XXe siècle par l'architecte Brunet (P2), tandis que le plâtre est le matériau de scellement des pannetons P1 mis en œuvre au cours des travaux engagés après l'explosion de la poudrière. Ainsi, même si

3. Note LRMH, 2017. *Cathédrale Saint-Gervais-Saint-Protais : identification des matériaux*, Leroux L., Bourges A., Azéma A., Note scientifique n°M-17-05.

4. Rapport LERM, 2018. *Étude de diagnostic préalable à la restauration de la rose occidentale de la cathédrale de Soissons (02) – Analyse des pierres du remplage de la rose*, Rapport n°18.42732.001.01.A.



P0 : pannelons coupés
Scellement au plomb

P1 : pannelons arrondis
Scellement au plâtre

P2 : pannelons trapézoïdaux
Scellement au ciment de Portland



Figure 4. Relevé lithologique combiné au relevé des différents types de serrureries des vitraux de la rose de la façade occidentale de la cathédrale de Soissons (vue interne)

l'ensemble de vitraux a été changé entre le XIXe (état 1) et le XXe siècle (état 2), le système d'armature a été conservé, les pannetons P2 venant renforcer ou compléter le système lacunaire. Par contre, la répartition des vestiges de pannetons P0 constituent le témoignage d'un système d'armature antérieur au XIXe siècle et probablement d'origine.

Les types de goujons (corrélés avec la nature du matériau de leur scellement) employés pour l'assemblage des pièces du remplage peuvent aussi chacun être associés à une période de travaux : les goujons en cuivre de section carrée sont cités dans les travaux du XXe siècle, ceux en laiton sont à attribuer à la restauration XIXe siècle. Les goujons en fer auraient a priori été employés antérieurement. De plus, les archives nous apprennent que la pierre de Saint-Pierre-Aigle fine a été mise en œuvre durant la période médiévale au moment de la construction de la rose (état 0). La pierre de type Saint-Pierre-Aigle plus grossière et plus coquillière est a priori employée à toutes les périodes. La pierre de type Laversine est majoritairement mise en œuvre dans le cadre de la restauration effectuée par Brunet au XXe siècle.

Une mise en correspondance des données collectées à partir de l'étude de la serrurerie des vitraux et de la pierre d'œuvre offre une lecture matérielle des transformations historiques de la rose (Figure 4).

Ainsi, les points suivants ont-ils pu être mis en évidence :

- les éléments (le remplage périphérique et la colonnette XV par exemple) ne présentant que des pannetons P2 correspondent aux pierres de remplacement apportées dans le cadre de la restauration de l'architecte Brunet. On constate d'ailleurs qu'en plus de la pierre Laversine, la pierre Saint-Aigle a également été employée pour les réparations de cette période (la colonnette de XIIIb et le remplage périphérique de Vc par exemple), à moins que tous les pannetons de type P1 de ces pièces n'aient été remplacés par le type P2, ce qui est peu probable.
- la présence des pannetons P1 seuls, ou de P1 et P2 simultanément sur certains remplages (le remplage central de XVI et le remplage périphérique de I par exemple) atteste d'une mise en œuvre en réemploi des pierres au XIXe siècle. Si le type calcaire Saint-Pierre-Aigle coquiller a majoritairement été employé, il semble que quelques éléments aient aussi été taillés dans la pierre de Laversine (le remplage périphérique de VIII par exemple). On constate finalement que 77% des remplages de la rose ont été remplacés à la suite de l'explosion de la poudrière en 1815.
- enfin, les pannetons P0 nous permettent de localiser les pierres originellement mises en œuvre. Elles se concentrent principalement dans le quart nord supérieur de la rose. Les goujons employés pour l'assemblage des différentes pièces de remplages nous permettent d'identifier les pièces qui n'ont *a priori* pas subi d'intervention depuis leur construction : c'est le cas du remplage périphérique de II.

Stabilité structurelle de la rose avant sa chute (état 2)

Les données matérielles (nature des matériaux employés et leur altération) et dimensionnelles collectées ont également servi de base à la mise en calcul de la structure de la rose de Soissons par modélisation aux éléments finis. Les premières observations générales d'ordre structurel révèlent que la rose, avant sa chute, était déjà affectée par deux déformations majeures : une ovalisation (aplatissement vertical de l'ordre de 20 cm du remplage central et de l'ordre de 16 cm pour le remplage périphérique), un bombement hors plan vers l'intérieur de la cathédrale (7 cm de décalage ont été mesurés), une fracturation à la jonction entre le cercle périphérique clavé de la rose et l'arc brisé de la façade, mais aussi un mouvement de rotation des colonnettes, en particulier celles de la moitié supérieure (Figures 5 à 7).

La mise au calcul de la structure montre que les parties les plus sollicitées de l'ouvrage sont les pierres de remplage périphériques et les pierres du noyau central (voir figures 6 et 7). Les contraintes calculées résultent de la flexion de la structure sous charge de vent orientées Ouest/Est (vent en pression sur la façade).

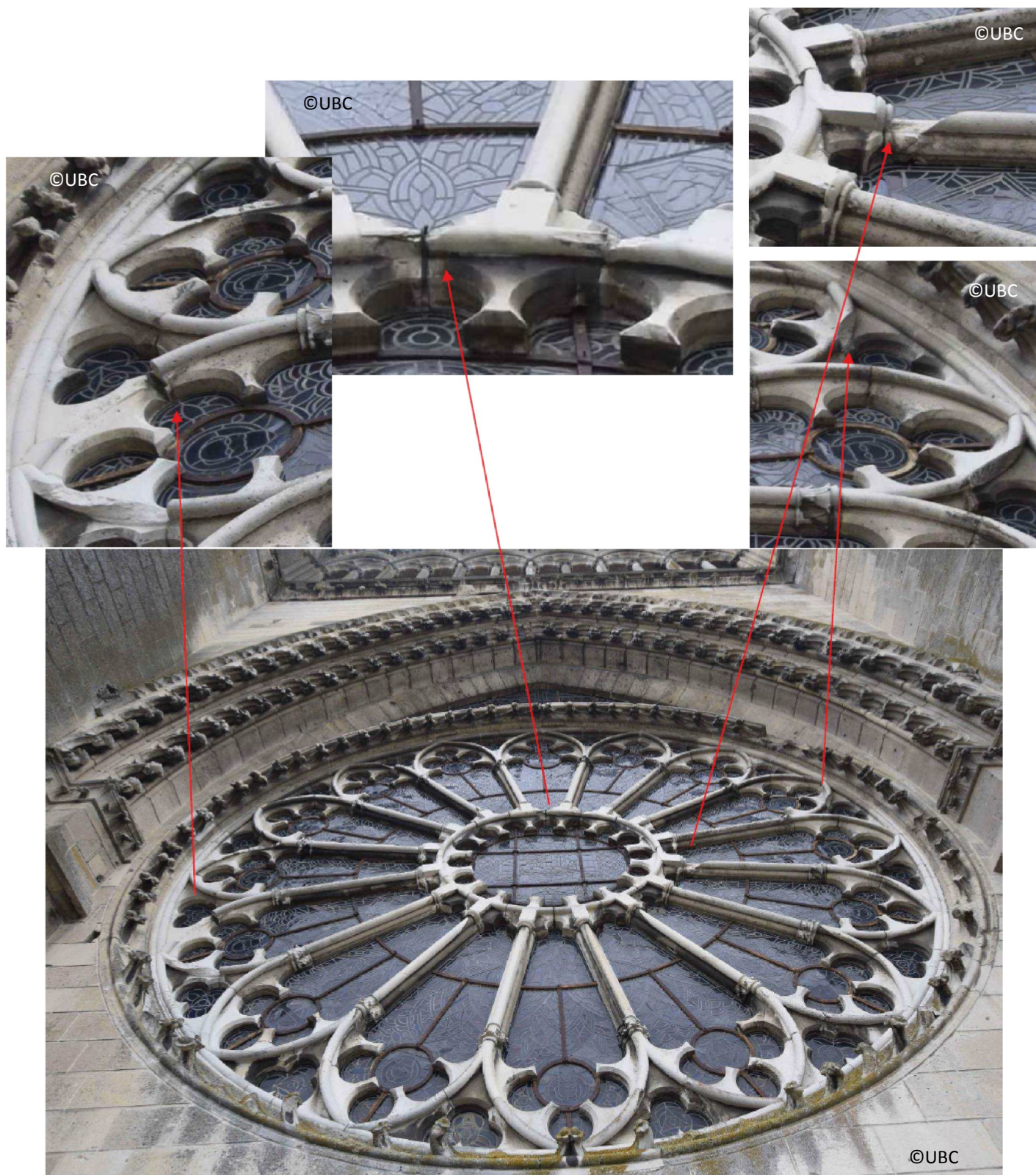


Figure 5. Relevé des altérations sur la face extérieure de la rose de Soissons

Les remplages périphériques sont tendus en parement extérieur et comprimés en parement intérieur. Cette distribution s'inverse pour les pierres du noyau central. La visualisation de la déformée de la structure permet de bien comprendre cette répartition.

Les intensités calculées sur les remplages périphériques sont de l'ordre de 2,8 MPa en flexion pour une contrainte moyenne à la rupture de 6 MPa. Sur le noyau central, les contraintes maximales de compression sont de l'ordre de 12 MPa pour une contrainte moyenne à la rupture de 40 MPa. Soit des taux de contraintes proches de 3 par rapport à des valeurs moyennes de rupture ce qui représente un coefficient de sécurité relativement faible.

Ces calculs sont corroborés par les observations réalisées sur site avant et après la rupture de la rose. En effet, l'inspection de la rose montre que la moitié des pierres des remplages périphériques faisait l'objet de réparations anciennes (ragréages) ou de fractures plus ou moins récentes et qu'une pierre du noyau central était dans un état d'altération avancé (Figure 5). Ainsi la structure de la rose avait-elle vraisemblablement atteint un point critique juste avant la tempête qui a entraîné sa chute.

En résumé, les faiblesses de structure de la rose sont conséquentes à la conjugaison de plusieurs facteurs :

- le vieillissement naturel des matériaux qui a entraîné une déformation progressive de la structure sous l'effet des charges permanentes seules. Il a été accentué par les forces externes s'appliquant lors des différents épisodes venteux ;
- les traumatismes provoqués par l'explosion de la poudrière et la première Guerre Mondiale qui ont vraisemblablement entraîné de nouvelles déformations. Ces dernières ont progressivement été « cristallisées » par les travaux de restaurations successivement engagés.

Vers un nouvel état ?

Cette étude préalable a rassemblé des compétences complémentaires dont les travaux ont conduit à une compréhension à la fois globale et complète de l'histoire matérielle et structurelle de la rose de la cathédrale Saint-Gervais-Saint-Protais de Soissons. L'ensemble des résultats constitue un appui précieux et indispensable à la réflexion quant à l'orientation du projet de restauration. Deux scénarii apparaissent possibles :

- le réemploi des pierres. Le constat d'état montrant que très peu de pierres sont réutilisables, l'ajout de nouvelles pierres, compatibles en termes de flexion et résistance à la compression, sera donc nécessaire. L'ensemble devra être taillé de manière à ne pas reproduire la géométrie déformée et instable.
- le montage d'une nouvelle rose à partir de pierres « neuves » selon une géométrie stable et une structure renforcée.

Dans ce contexte, la modélisation aux éléments finis a permis de quantifier les bénéfices pour la structure de certaines dispositions. Ainsi, une disposition parfaitement circulaire comme cela était le cas initialement permet de réduire le 30 % les contraintes. De même, il est apparu que les goujons entre pierres pouvaient jouer un rôle essentiel si leurs ancrages étaient réalisés de manière à leur permettre de reprendre des efforts de traction et donc de participer à la transmission des efforts de flexion (pierre armée).

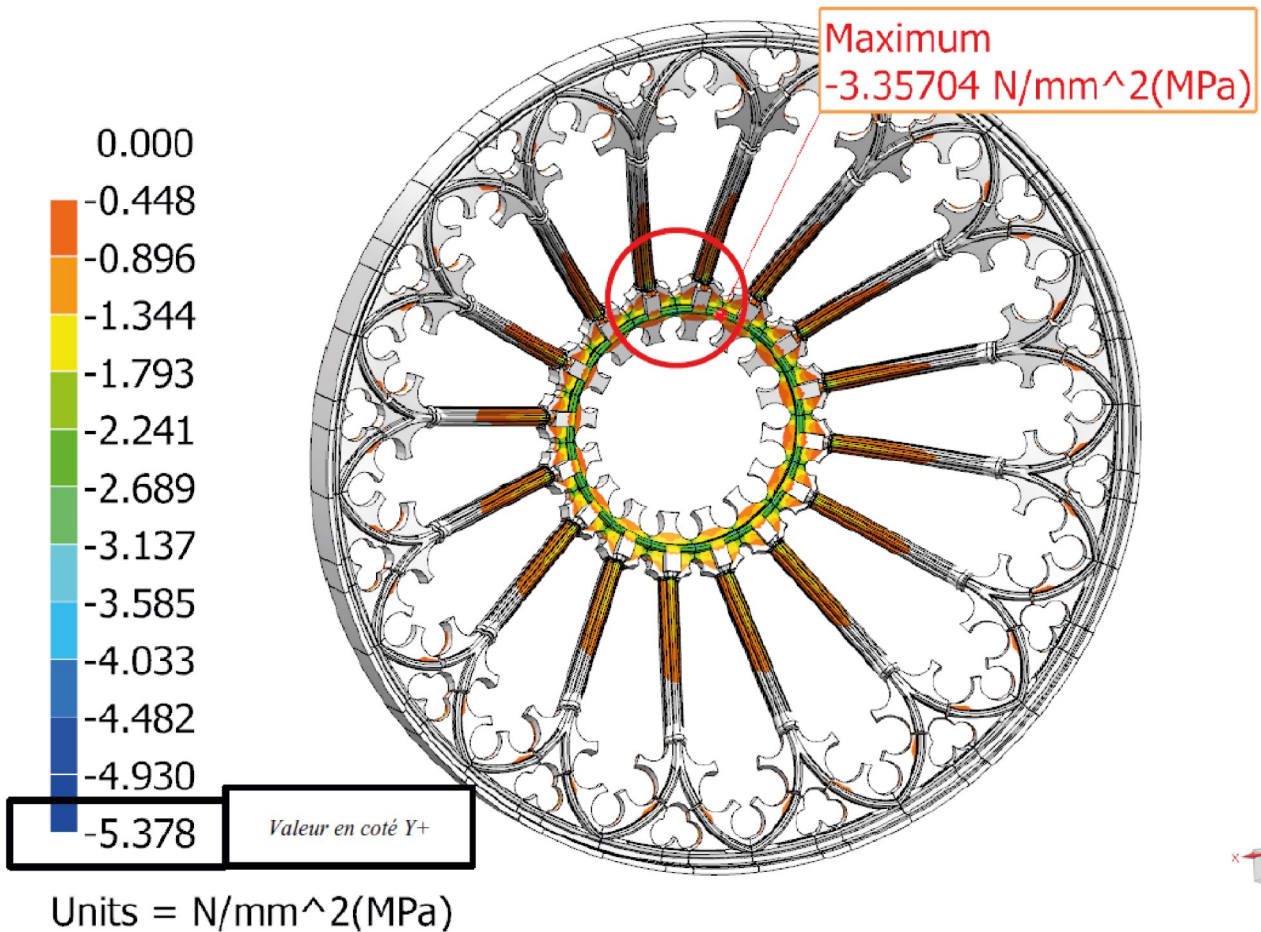
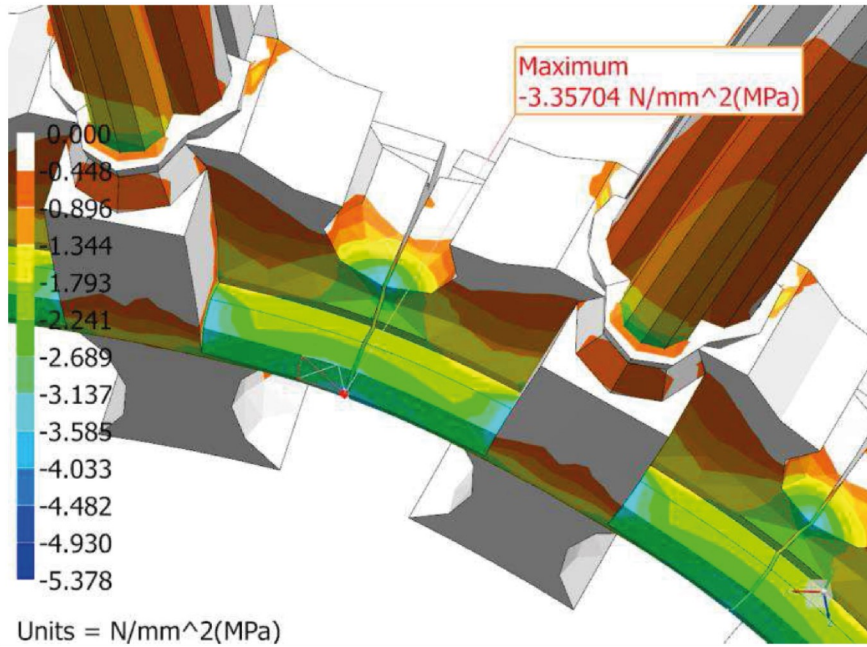


Figure 6 . Résultats de la modélisation reportant sur la rose déformée les maxima des contraintes de compression pour les combinaisons ELU – vue de la face externe ©UBC

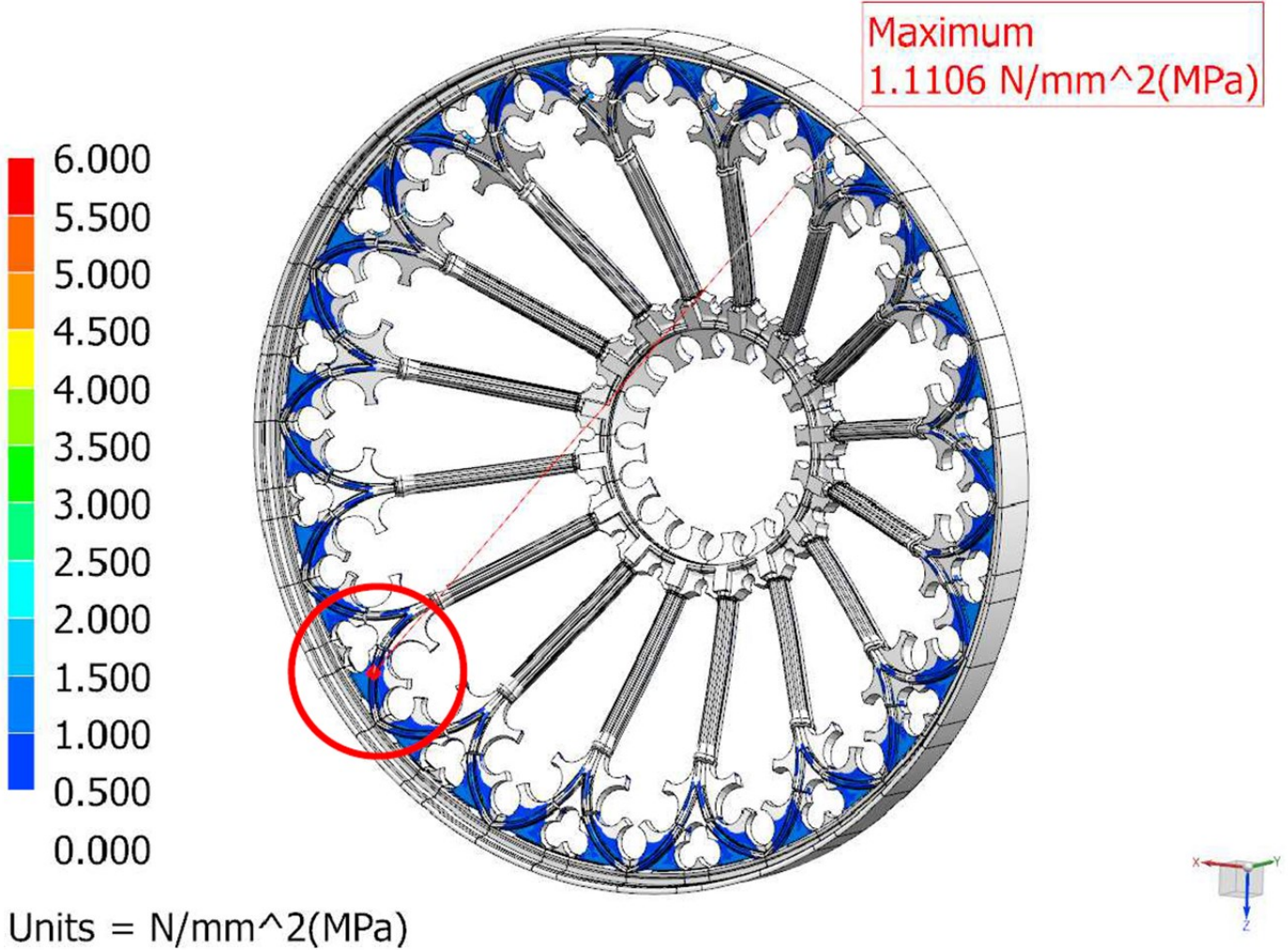



Figure 7. Résultats de la modélisation reportant sur la rose déformée les maxima des contraintes de flexion (traction) pour les combinaisons ELU – vue de la face externe ©UBC

LES ASSEMBLAGES BOIS-FER ARCHÉOLOGIQUES : CAS D'UNE ÉPAVE ANTIQUE FOUILLÉE EN MILIEU FLUVIAL (COURBIAC, CHARENTE-MARITIME)

Céline Rémazeilles

LaSIE, UMR 7356 CNRS, Université de La Rochelle, Avenue Michel Crépeau, 17042 La Rochelle cedex 01

 celine.remazeilles@univ-lr.fr

François Lévêque, LIENSs, UMR 7266 CNRS, Université de La Rochelle, 2 rue Olympe de Gouges, 17000 La Rochelle

Antoine Trosseau, LaSIE et LIENSs

Jonathan Letuppe, EVEHA, 31 rue Soyouz - Ester Technopole, 87068 Limoges Cedex, chercheur associé UMR 5607

AUSONIUS - Université de Bordeaux

Introduction

L'épave Ep2 Courbiac, Saintes-Foncouverte, fouillée dans le fleuve Charente au printemps 2017, s'ajoute à un ensemble d'épaves étudiées depuis plusieurs années aux laboratoires LIENSs et LaSIE de l'Université de La Rochelle. Il s'agit d'analyser la matrice organique et les restes des renforts en fer de systèmes archéologiques composites bois-fer gorgés d'eau, en focalisant les investigations sur l'identification des produits de dégradation minéraux à base de soufre et de fer. Les épaves sont les systèmes emblématiques de notre étude car ces vestiges sont au cœur d'un enjeu important de conservation du patrimoine. Du fait du caractère composite de l'assemblage, on assiste à une dégradation tout aussi composite qui complique énormément les stratégies de conservation et les traitements envisagés. Les bois sont déjà sujets à plusieurs types de dégradation de natures physique, chimique et biologique. Mais lorsque des pièces de bois sont assemblées par des renforts en fer, la présence d'eau et la faible teneur en oxygène aux interfaces bois-fer conduisent à la biocorrosion des renforts. Ce phénomène, occasionné par le développement de bactéries anaérobies sulfurogènes, prend naissance sur le métal mais affecte surtout le bois. La formation de sulfures de fer en tant que produits de corrosion des renforts s'accompagne d'une acidification de l'eau d'imprégnation, exposant les molécules organiques à des conditions agressives. Par ailleurs, ces composés de nature ferreuse sont sensibles à l'air et leur oxydation post-fouille conduit à la formation de produits volumineux qui peuvent générer de fortes contraintes mécaniques à l'intérieur du bois. Le bois subit alors des dégradations supplémentaires, chimiques et physiques, irréversibles. Il n'existe pas à l'heure actuelle de traitement de restauration capable d'éliminer les sulfures de fer tout en préservant le bois et les stratégies de conservation envisagées visent surtout à limiter les effets de l'oxydation des sulfures de fer qui restent dans le bois même après le traitement.

Un diagnostic post-fouille (ou prétraitement) consistant à évaluer la contamination du bois par les sulfures de fer et à en déterminer la nature peut s'avérer utile afin d'élaborer une stratégie de conservation ciblée et pertinente. Notre démarche vise donc à mieux comprendre le phénomène. Cela consiste fondamentalement à mieux identifier l'effet à plus ou moins long terme d'une activité bactérienne sulfurogène sur les systèmes bois-fer gorgés d'eau et de dégager des paramètres cruciaux. Une bonne connaissance de la chimie des sulfures de fer et du phénomène de biocorrosion est indispensable pour cela. Or la littérature fournit de nombreuses données physico-chimiques, phénoménologiques, théoriques et fondamentales, sur lesquelles il est possible de s'appuyer. Toutefois, il est difficile d'appliquer ces données disponibles directement et en particulier aux systèmes dont il est question ici car la bibliographie illustrant le phénomène à travers des cas réels et concrets est extrêmement pauvre. Nous collectons donc des échantillons provenant d'épaves ayant vieilli en milieux immergés ou enfouis,

propices à la biocorrosion des renforts en fer et orientons nos analyses sur la détection des sulfures de fer et autres produits de corrosion ainsi que sur l'identification des sels minéraux.

Après la présentation des analyses effectuées sur le bois et un diagnostic concernant la corrosion des clous de l'épave Ep2 Courbiac, Saintes-Foncouverte, il s'agira de confronter les résultats avec ceux obtenus sur d'autres épaves et de discuter des paramètres ayant un impact majeur sur la contamination qualitative et quantitative des bois par les sulfures de fer.

Analyse des composés fer-soufre et autres phases minérales présentes dans le bois

L'épave Ep2 Courbiac, Saintes-Foncouverte, fait partie d'un ensemble de deux épaves fouillées dans le fleuve Charente par la société EVEHA entre 2016 et 2018, en amont de Saintes en Charente-Maritime. Elles ont été datées par dendrochronologie, toutes les deux, d'une période comprise entre le 3^{ème} et le 5^{ème} siècle¹. Une membrure contenant des clous (figure 1) a été collectée, en notre présence sur site en juin 2017, et aussitôt emballée dans du film plastique et congelée à -20°C au laboratoire LIENSs jusqu'à son étude réalisée au printemps 2018. Une opération de congélation-décongélation peut être néfaste pour le bois mais la congélation préserve les sulfures de fer de l'oxydation et ralentit l'activité bactérienne. Nous avons donc privilégié ce mode de conservation apte à garantir un état des sulfures de fer proche de l'*in-situ*.



Figure 1. Élément de membrure avec clous, extrait de l'épave Ep2 Courbiac, Saintes-Foncouverte. Les flèches désignent le sens transversal et longitudinal de découpe des échantillons à partir du clou entouré

La méthodologie d'analyse des échantillons de bois combine des techniques d'analyses élémentaires et structurales (microscopie électronique à balayage en mode environnemental couplée à la microanalyse X (MEB-EDS), microspectroscopie Raman et diffraction des rayons X (DRX)) avec des méthodes de caractérisation magnétique comme la mesure de susceptibilité magnétique et la détermination de courbes d'aimantation rémanente isotherme. Ces

1. Letuppe J., Le Digol Y., Luzet C., Saulière N., Epaves antiques de Courbiac – Saintes-Fontcouverte (17). *Rapport final d'opération archéologique : fouille programmée* (2017) 286p.

dernières sont capables de détecter les phases magnétiques, à l'intérieur d'une matrice organique gorgée d'eau, avec des teneurs de l'ordre du ppm et de les identifier par leurs propriétés magnétiques caractéristiques. Le but d'une telle démarche est d'obtenir la composition minérale des échantillons de la manière la plus exhaustive possible. Les méthodes magnétiques analysent dans la masse et apportent des résultats représentatifs de l'ensemble de l'échantillon, tandis que les méthodes comme le MEB, la microspectroscopie Raman et la DRX sont des méthodes d'analyses locales et/ou de surface. Toutefois, les méthodes magnétiques limitent la détection des espèces minérales aux phases magnétiques. Dans notre contexte, la greigite (Fe_3S_4), la magnétite (Fe_3O_4) et la maghémite ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) sont des produits de (bio)corrosion magnétiques plausibles. Les autres méthodes permettent potentiellement la détection d'une gamme plus large de minéraux.

Un premier diagnostic non destructif a été réalisé par mesure de la susceptibilité magnétique, sur l'élément entier de membrure. Le signal détecté extrêmement intense au niveau des clous signifie qu'un noyau métallique est encore présent dans chacun d'entre eux. A fortiori, ce signal masque tout signal magnétique pouvant provenir des autres composés magnétiques. Des échantillons de bois sous forme de cubes de $2 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$ ont donc été découpés de la partie interne de la membrure et selon des directions longitudinale et transversale en partant d'un clou jusqu'à la bordure (figure 1). Des clous ont été mis de côté pour l'étude métallographique et l'analyse des produits de corrosion, d'autres ont été laissés dans le reste de la membrure. La figure 2 montre deux courbes typiques de désaimantation rémanente en Backfield extraites de l'ensemble des signaux obtenus à partir des cubes de bois analysés (14 au total). La courbe correspondant au cube nommé B15 montre la présence d'une seule phase magnétique. La phase identifiée est un sulfure de fer, la greigite. La courbe relative à l'échantillon B9 montre la présence conjointe de deux phases magnétiques, la greigite et probablement la magnétite. Au final, la greigite et la magnétite ont été les seules phases minérales détectées par les méthodes de mesures magnétiques. Seul l'échantillon B15 n'a montré que de la greigite, tous les autres contiennent à la fois de la greigite et de la magnétite.

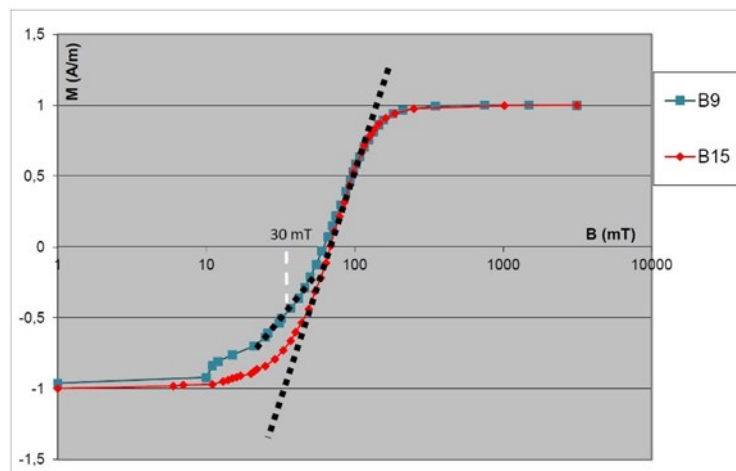


Figure 2. Courbes de désaimantation rémanente isotherme (en Backfield) des échantillons B9 et B15

Les analyses réalisées au MEB et en micro-spectroscopie Raman ont permis d'identifier d'autres phases minérales non magnétiques. Un autre sulfure de fer a été mis en évidence dans quelques échantillons. Il s'agit de la pyrite (FeS_2). La figure 3 regroupe deux micrographies MEB de pyrite. Les analyses élémentaires (non montrées) indiquent la présence de fer, de soufre, de carbone et d'oxygène mais aussi de calcium, de silicium et de phosphore. De la calcite (CaCO_3) et du quartz (SiO_2) ont été détectés en microspectroscopie Raman et des pics présents sur quelques diffractogrammes X pourraient être attribués à la vivianite ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8(\text{H}_2\text{O})$). En plus de la pyrite, d'autres phases soufrées ont été identifiées en microspectroscopie Raman comme le soufre élémentaire ($\alpha\text{-S}_8$) et le gypse $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (figure 3).

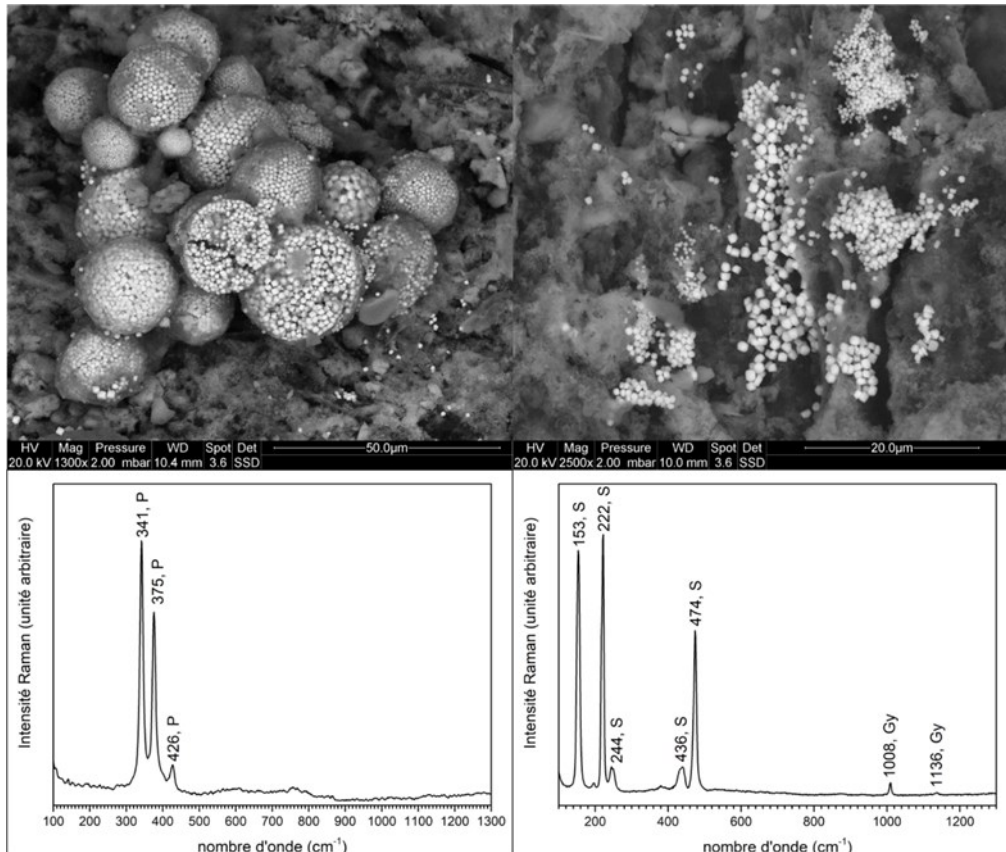


Figure 3. Micrographies MEB en mode environnemental montrant des cristaux de pyrite framboïdale (gauche) et euhédrale (droite). Spectres Raman de phases soufrées (P = pyrite, S = soufre α S₈, Gy = gypse)

Notons que la greigite et la magnétite n'ont été mises en évidence que par les méthodes de mesure magnétiques. Un caractère nanocristallin et/ou une très faible teneur pourraient expliquer le fait que ces phases n'ont pas été détectées avec les autres méthodes.

Enfin des mesures de pH de surface ont été réalisées sur tous les cubes échantillons. Les résultats ont montré une légère acidification de l'eau d'imprégnation du bois, entre 5,6 et 7,1 alors que de l'eau de la Charente prélevée a montré un pH de 7,6.

Étude métallographique et analyse des produits de corrosion de clous prélevés

Le deuxième volet de cette étude a consisté à étudier les clous. Au moment de l'extraction de la membrure, il a été observé qu'ils étaient entourés d'une cheville en bois.

Une étude métallographique a été réalisée sur l'un d'entre eux par observation au microscope optique d'une surface métallique polie, après une attaque chimique au nital (3% d'acide nitrique dilué dans de l'éthanol). Des mesures de micro-dureté (Vickers) ont ensuite été réalisées sur la même surface, en suivant deux diamètres perpendiculaires. La composition élémentaire du métal a été déterminée, de façon macroscopique, par spectrométrie de fluorescence X et les inclusions ont été étudiées au microscope électronique à balayage en mode environnemental.

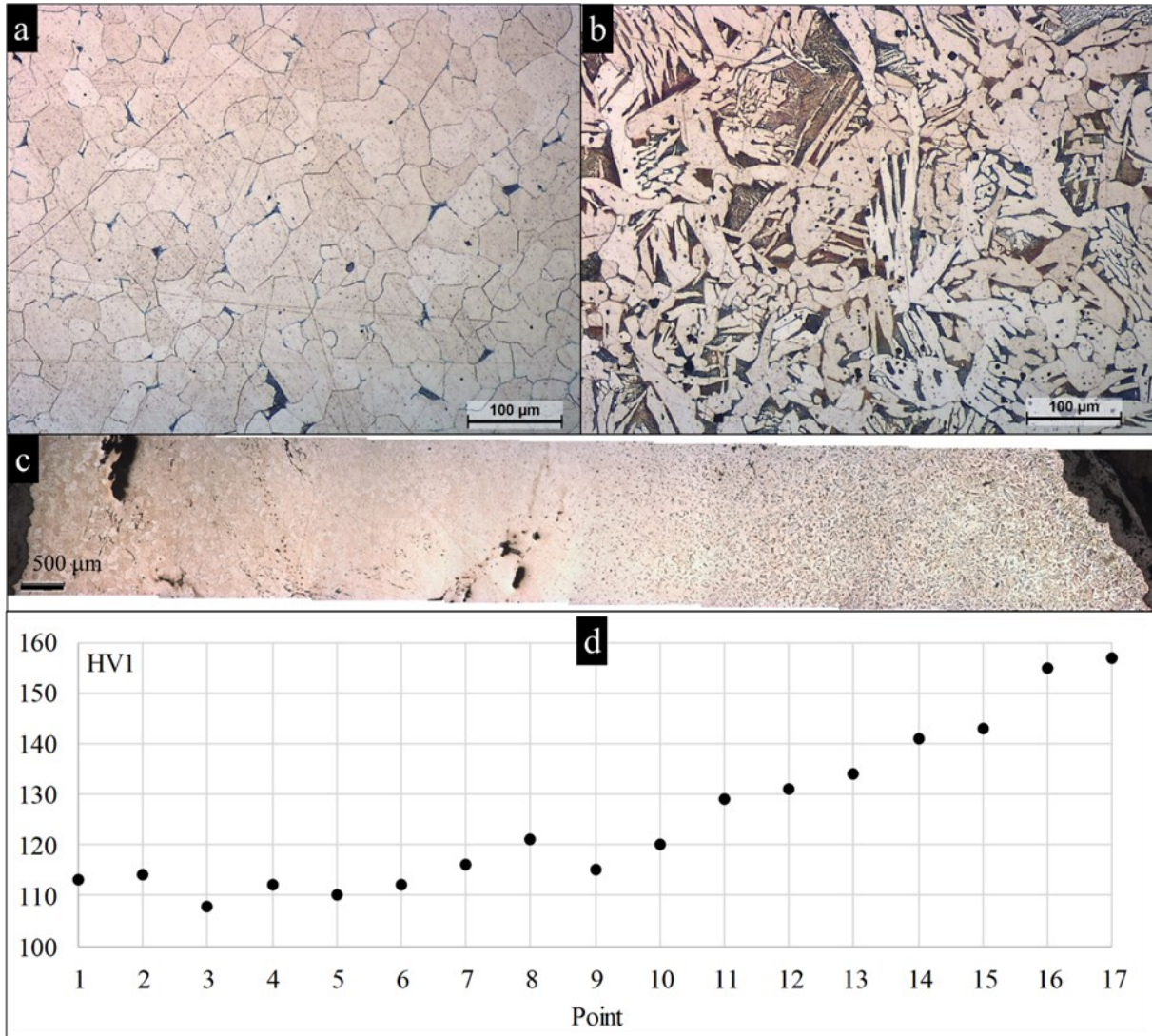


Figure 4. (a, b, c) Micrographies optiques après attaque au nital, (d) Indices de micro-dureté le long de la section (c)

D'après la figure 4, on observe deux microstructures différentes sur une même section du clou. La ferrite hypoeutectoïde (%carbone proche de 0,2, figure 4a) est significative d'un refroidissement lent de l'alliage ferreux, la ferrite aciculaire (figure 4b) est caractéristique d'un refroidissement plus rapide. Le refroidissement du clou s'est donc opéré de manière hétérogène. Cette hétérogénéité est confirmée par les mesures de micro-dureté. La figure 4c montre une image reconstituée d'une tranche allant de part et d'autre de la section, le long de laquelle des mesures de micro-dureté ont été réalisées (les points de mesure non visibles sur cette image étaient espacés d'environ 500 μm). Le profil correspondant est représenté sur la figure 4d et montre une dureté plus importante du côté de la ferrite aciculaire. Les valeurs en unité Vickers (HV1) varient entre 108 et 157. Elles sont représentatives d'un refroidissement globalement lent, supposant que le clou ait refroidi à l'air. Enfin, un tel intervalle de valeurs de micro-dureté pour un acier non trempé situe la teneur en carbone entre 0,1% et 0,3%.

Les teneurs élémentaires sont regroupées dans le tableau 1. La zone d'analyse du spectromètre de fluorescence des rayons X correspond à une surface de quelques mm de diamètre, les résultats prennent donc en compte le métal et ses inclusions. L'acier contient de nombreux éléments, qui ne proviennent certainement pas tous de l'alliage comme le chlore. Ce dernier a en effet été détecté dans des produits de corrosion formés au cœur de la matrice

métallique. Il provient très probablement de l'environnement. Par microanalyse X, réalisée au MEB, il a été observé que l'aluminium, le phosphore et le calcium sont surtout localisés dans des inclusions riches en fer et en silicium. La fayalite (Fe_2SiO_4 , figure 5) a par ailleurs été identifiée en microspectroscopie Raman.

Élément	Al	Si	P	Cl	Ca
Teneur	0,363 ± 0,009 %	0,362 ± 0,001 %	0,353 ± 0,001 %	399,6 ± 5,1 ppm	0,124 ± 0,001 %
Élément	Ni	Cu	Sn	Pb	Balance (Fe-C)
Teneur	973,5 ± 84,4 ppm	502,9 ± 46,7 ppm	59,2 ± 4,7 ppm	0,109 ± 0,006 %	98,497 ± 0,025 %

Tableau 1. Composition élémentaire d'un clou extrait de l'épave Ep2 Courbiac, Saintes-Foncouverte, déterminée par spectroscopie de fluorescence X

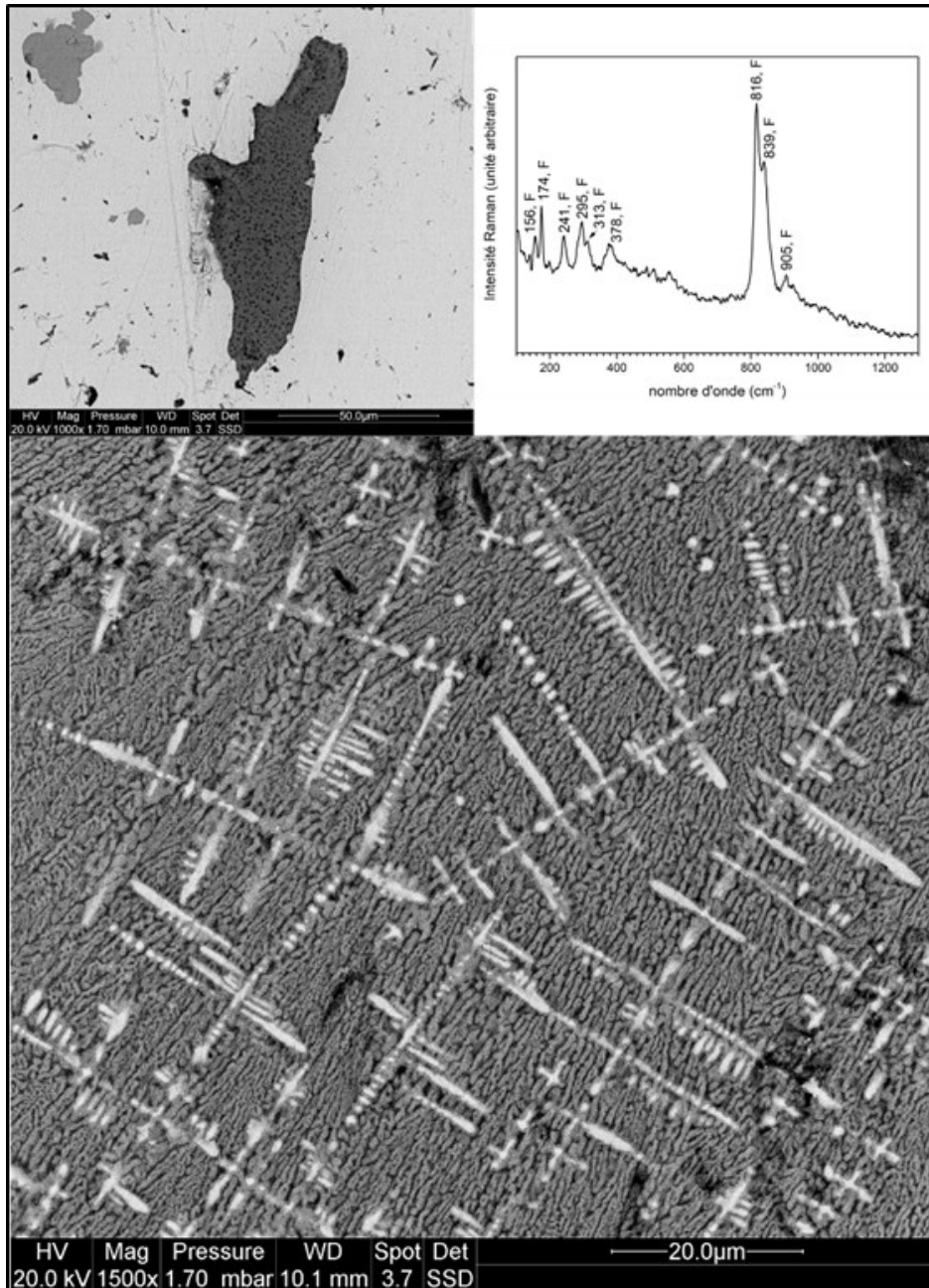


Figure 5. Micrographies MEB d'inclusions et spectre Raman de la fayalite (F)

Un autre clou a été dédié à l'analyse des produits de corrosion. Pour cela, après extraction de la membrure, il a été rapidement enrobé dans de la résine afin d'exposer les produits de corrosion le moins possible à l'air. Certains, de nature ferreuse, sont en effet susceptibles de se transformer de manière irréversible au contact de l'oxygène. Le clou a ensuite été découpé selon une section transversale, dans le sens longitudinal, puis poli pour étudier les produits de corrosion en microspectroscopie Raman et au MEB en mode environnemental. La figure 6a montre la section étudiée. On constate d'abord que l'objet est peu corrodé car il reste du métal selon une épaisseur d'environ 10 mm, les produits de corrosion représentent, de part et d'autre du métal, une épaisseur d'un à deux millimètres. Ceci confirme les mesures préliminaires de susceptibilité magnétique qui indiquaient un reste important de métal dans les clous. Les produits de corrosion sont essentiellement carbonatés. La sidérite (FeCO_3) et la chukanovite ($\text{Fe}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$) ont été identifiées. Ces produits de corrosion sont typiques d'une corrosion du fer en conditions faiblement oxygénées et en milieux faiblement salins. Il est important de comprendre que la biocorrosion des renforts

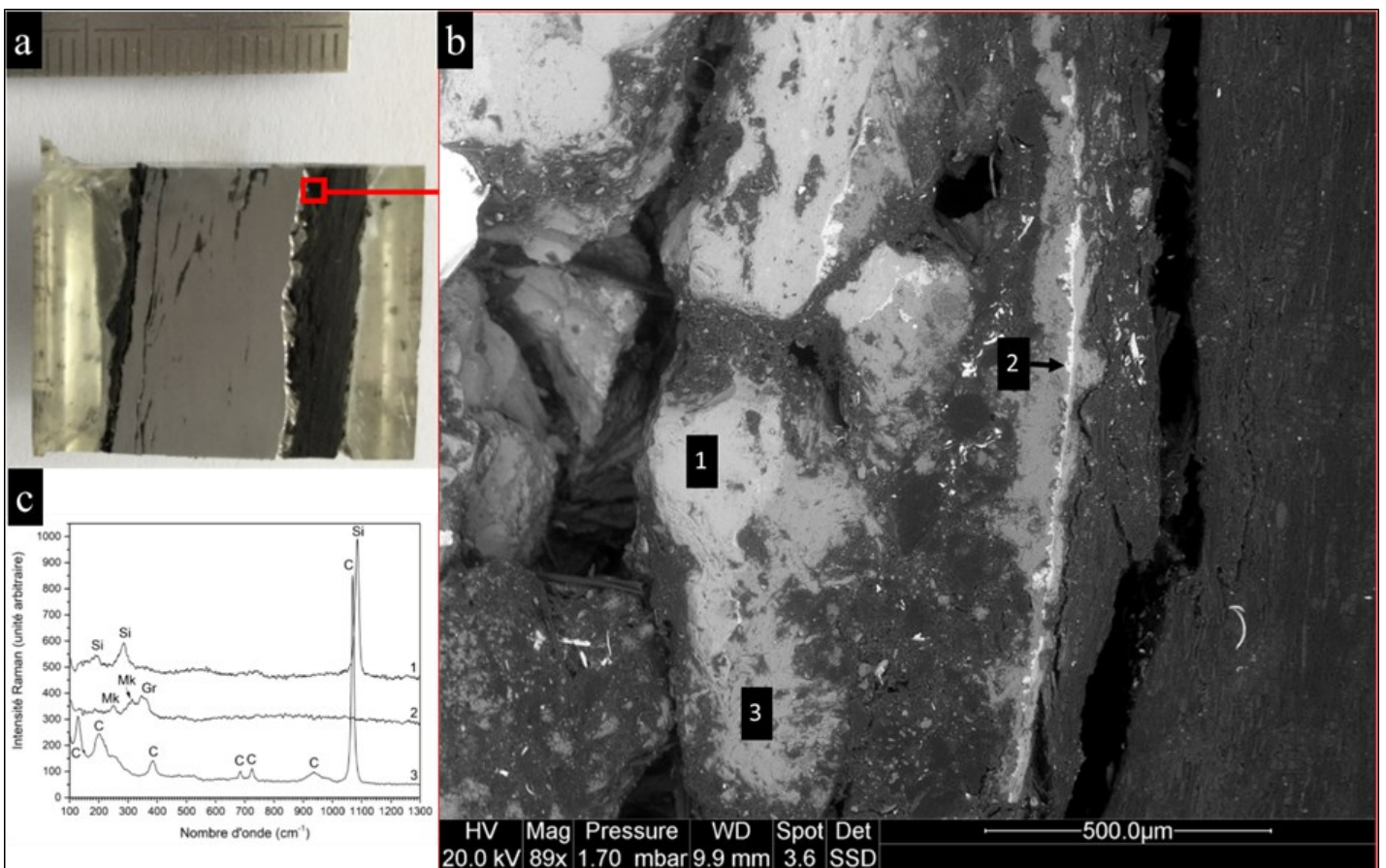


Figure 6. (a) Section d'un clou. Le rectangle rouge représente la zone d'observation selon la micrographie MEB (b) correspondant aux spectres Raman (c) dans les zones 1, 2 et 3. Si = sidérite, C = chukanovite, Mk = mackinawite, Gr = greigite

Diagnostic et paramètre cruciaux

Les résultats obtenus à partir des vestiges de l'épave Ep2 Courbiac, Saintes-Foncouverte, sont comparés à ceux obtenus sur d'autres épaves étudiées précédemment, en se focalisant sur la nature des composés minéraux réduits aux soufre et fer (sulfures de fer) identifiés dans les bois et sur l'état des renforts en fer. Notre objectif est de dégager des tendances au fur et à mesure que notre corpus s'enrichit.

Les résultats obtenus à partir des vestiges de l'épave Ep2 Courbiac, Saintes-Foncouverte, sont comparés à ceux obtenus sur d'autres épaves étudiées précédemment, en se focalisant sur la nature des composés minéraux réduits aux soufre et fer (sulfures de fer) identifiés dans les bois et sur l'état des renforts en fer. Notre objectif est de dégager des tendances au fur et à mesure que notre corpus s'enrichit.

Le tableau 2 regroupe les résultats significatifs d'un point de vue qualitatif et grossièrement quantitatifs et y associe l'époque du vestige et le milieu dans lequel il a vieilli. On remarque dans un premier temps que la composition en sulfures de fer peut différer selon les épaves. L'USS Monitor et les épaves de La Natière contiennent la mackinawite et la greigite. Les épaves de Narbonne-Mandirac, LSG4 et Courbiac contiennent la greigite et la pyrite. Les milieux d'où proviennent ces épaves sont différents mais on peut distinguer grossièrement deux conditions d'abandon, immergées (milieu marin et fluvial) et enfouies (sol, sédiments). Il faut cependant être très prudent, et cette distinction est forcément réductrice. Il s'agit en fait de mettre en avant les différences d'oxygénation relatives aux milieux, qui favoriseront des processus anoxiques plus ou moins importants et une activité bactérienne anaérobie plus ou moins intense. Or, parfois des données manquent et cela nous force à nuancer nos propos. En l'occurrence nous avons très peu d'informations sur les conditions de vieillissements des épaves *USS Monitor* et de La Natière et les conditions de conservation post-fouille. Composer avec un certain nombre d'inconnues constitue souvent un enjeu majeur dans l'élaboration d'un diagnostic.

Épave	Époque	Milieu d'abandon	Mackinawite (FeS)	Greigite (Fe ₃ S ₄)	Pyrite (FeS ₂)	État des renforts
<i>USS Monitor</i> ²	19 ^{ème} s.	Marin	++++	+	0	Non étudié (pas d'échantillons fournis)
Épaves de La Natière ²	18 ^{ème} s.	Marin	+++	+	0	Non étudié (pas d'échantillons fournis)
Narbonne-Mandirac ³	4 ^{ème} s.	Sol (sédiments)	0	+++++	+++++	Plus de métal dans les clous de toute l'épave
LSG4 ⁴	2 ^{ème} s.	Sol (sédiments)	0	+++++	+++++	Plus de métal dans les fragments fournis
Courbiac	3 ^{ème} -5 ^{ème} s.	Fluvial	0	+	+	Peu corrodés

Tableau 2. Récapitulatif des résultats obtenus à partir de différentes épaves archéologiques étudiées précédemment

2. Rémazeilles C., Tran K., Guilminot E., Conforto E., Refait P., Study of Fe(II) sulphides in waterlogged archaeological wood, *Studies in Conservation* 58 (2013) 297-307

3. Rémazeilles C., Lévêque F., Minjacq M., Refait P., Sanchez C., Jezegou M.P., Characterisation of iron (II) sulfides in wet archaeological woods: the wreck of Mandirac (IVth century, antique ports of Narbonne, France), *Proceedings of the 13th ICOM-CC Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference*, Eds: E. Williams & E. Hocker, Florence 2016, 227-236

4. Rémazeilles C., Meunier L., Plasson N., Lévêque F., L'épave Lyon Saint-Georges 4, un composite grand format, *Actes de la Journée ICOM Métal France 2017*, 12-17

Il reste que le tableau 2 met en avant un critère intéressant qui semble davantage discriminant quant à la nature des sulfures de fer présents dans les bois d'épaves. Il s'agit de l'âge, qui sous-entend le temps passé dans le milieu d'abandon depuis l'oubli jusqu'à la mise au jour. Les épaves les plus récentes montrent la présence de mackinawite et greigite, alors que les épaves les plus anciennes contiennent de la greigite et de la pyrite. Il est important de préciser que la mackinawite est le premier précipité sulfuré formé à partir d'un substrat ferreux, une fois le processus de biocorrosion enclenché. Or ce produit de corrosion n'est pas stable en cas d'apport de sulfures dans le milieu, même en conditions anoxiques. Il est instable aussi en présence d'oxygène. Le schéma de la figure 7 représente les différentes voies d'évolution de la mackinawite en conditions anoxiques ou en cas d'exposition à l'air. Ainsi, les paramètres tels que le caractère oxygéné/anoxique du milieu, l'approvisionnement en soufre via l'arrivée d'espèces sulfurées, la température, l'humidité, le pH, etc. déterminent une voie ou une autre. Sans apport en sulfures et en conditions anoxiques, la mackinawite peut être considérée comme stable. En cas d'apport en sulfures, accompagné d'une baisse du pH, la mackinawite (1 atome de fer pour 1 atome de soufre) est transformée en greigite (de 1 atome de fer pour 1,3 atomes de soufre) puis en pyrite (1 atome de fer pour 2 atomes de soufre). Ce schéma est compatible avec le scénario d'une activité microbiologique qui a perduré sur le long terme. Les bactéries sulfurogènes se développent aussi bien en milieu marin que dans un sol, dès lors que le milieu est saturé en eau. Dans les assemblages bois-fer, la présence abondante de matière organique, le milieu faiblement oxygéné et l'eau constituent un terrain fertile pour le développement des colonies de bactéries anaérobies sulfurogènes. Avec en plus un objet en fer qui se corrode, tous les facteurs d'un réacteur pour la production de sulfures de fer sont réunis. De plus, la transformation de la mackinawite en pyrite via la greigite assure, étape par étape, une assimilation progressive du soufre par les phases solides, de sorte que le milieu peut ne jamais atteindre un niveau trop élevé en sulfures, qui serait alors toxique pour les bactéries. La présence de pyrite et de greigite dans les épaves de Narbonne-Mandirac, LSG4 et Courbiac semblent corroborer cette hypothèse. En s'appuyant sur le schéma d'évolution de la mackinawite en conditions anoxiques (partie du haut de la figure 7) on voit que les épaves les plus récentes (*USS Monitor* et La Natière) concordent avec la première étape, qui correspond à la transformation de mackinawite en greigite. Les épaves antiques (LSG4, Narbonne-Mandirac et Courbiac) s'inscrivent dans la deuxième étape, correspondant à la transformation de la greigite en pyrite. La mackinawite s'est probablement formée dans ces dernières, elle se serait alors complètement oxydée depuis. Elle n'a en effet pas du tout été détectée dans les bois de ces épaves.

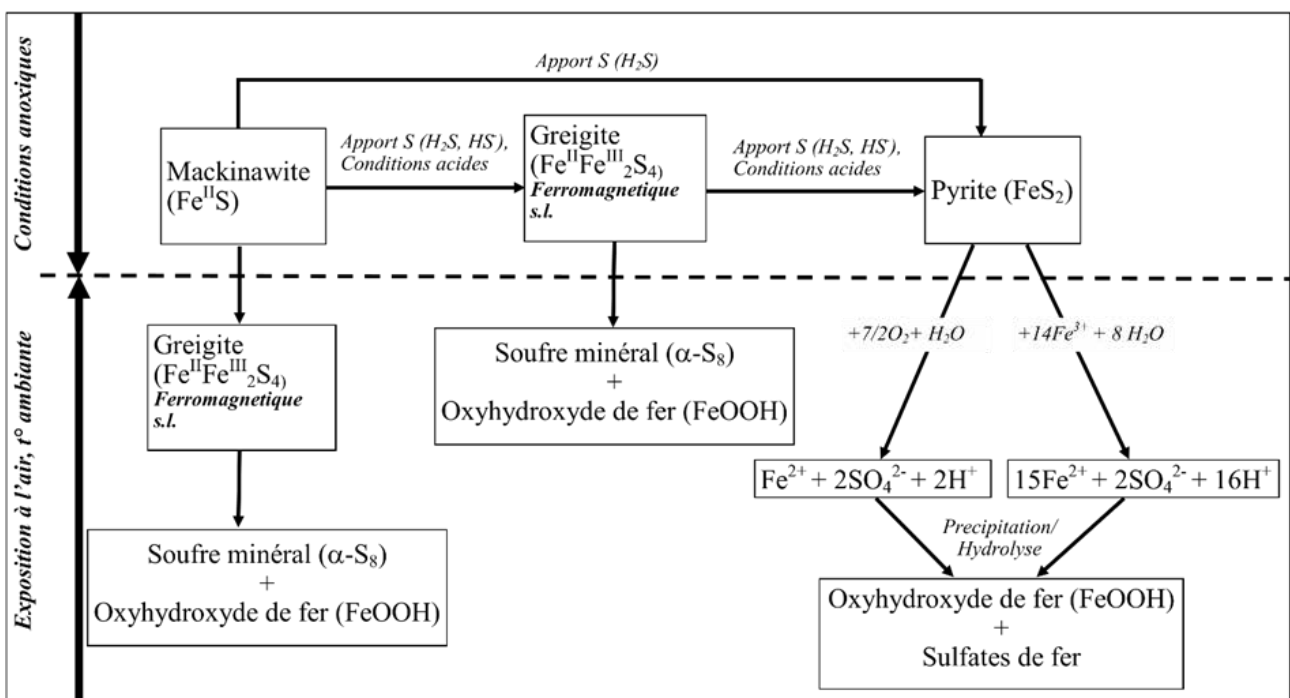


Figure 7. Schéma d'évolution de la mackinawite en conditions anoxiques et aérées

Toutefois, si l'épave Ep2 Courbiac, Saintes Foncouverte, s'inscrit dans cette tendance, on note que la quantité de sulfures de fer décelée y est extrêmement faible, comparée aux épaves LSG4 et Narbonne-Mandirac datant de la même époque. Une faible quantité de sulfures de fer peut signifier une faible activité bactérienne anaérobie sulfurogène. Les clous se sont également avérés très peu corrodés, contrairement à ceux des épaves LSG4 et Narbonne-Mandirac qui ont été très fortement voire totalement transformés en produits de corrosion. Complètement enfouies dans du sédiment gorgé d'eau donc abandonnées en milieux stagnants, les épaves LSG4 et Narbonne-Mandirac se sont retrouvées en conditions propices au développement généralisé des bactéries anaérobies sulfurogènes. Concernant l'épave de Courbiac, il a été démontré que le fond de la Charente au niveau de la zone de fouille est en phase d'érosion¹. L'épave, située à 5m de profondeur a vieilli en milieu non stagnant, certes restreint en oxygène mais suffisamment aéré pour limiter l'activité des bactéries anaérobies. Celles-ci n'ont pu se développer au mieux que de façon localisée dans le bois ou au milieu des produits de corrosion. Les clous n'ont ainsi pas été soumis à des conditions agressives durant les presque 2000 ans d'oubli. En conditions immergées dans un milieu peu salin à l'activité bactérienne sulfurogène limitée, ils se sont corrodés de manière généralisée selon des processus électrochimiques caractéristiques d'un milieu modérément oxygéné amenant à des vitesses de corrosion très lentes. Le milieu semble jouer cette fois un rôle majeur car c'est lui qui va conditionner l'intensité de l'activité bactérienne anaérobie sulfurogène. Ainsi en tant que paramètres cruciaux, le temps passé à l'abandon et le milieu d'abandon auront un rôle prépondérant dans le processus de formation/transformation des sulfures de fer. Le premier aura un rôle plutôt qualitatif, le deuxième aura un rôle plutôt quantitatif.

Conclusion

L'analyse d'échantillons de bois provenant de l'épave Ep2 Courbiac, Saintes-Foncouverte, fouillée dans le fleuve Charente, a montré la présence de sulfures de fer, comme attendu dans ce type de système composite bois-fer gorgé d'eau. Il s'agit de la greigite et de la pyrite. Cette épave s'inscrit dans la tendance qui relie la nature des sulfures de fer à l'ancienneté du vestige. Toutefois, elle se distingue dans notre corpus car elle contient ces sulfures de fer en très faible quantité comparé à d'autres épaves de la même époque étudiées précédemment. Les clous présents dans le bois sont par ailleurs très peu corrodés. Les vestiges de cette épave antique présentent un bon état de conservation. Son étude a fourni des résultats conformes à une tendance que l'on cherchait à conforter. D'autres résultats ont également apporté un éclairage nouveau sur le rôle du milieu d'abandon dans la formation des sulfures de fer. Le temps et le lieu ont un rôle dans la formation de ces composés. Le premier semble déterminer leur nature présente dans le bois au moment de la mise au jour, le deuxième semble agir sur la quantité produite.

Remerciements

Sylvie Labroche (récupération des échantillons, figure 8)

Egle Conforto (microscopie électronique)

Abdelali Oudriss (mesures de micro-dureté)

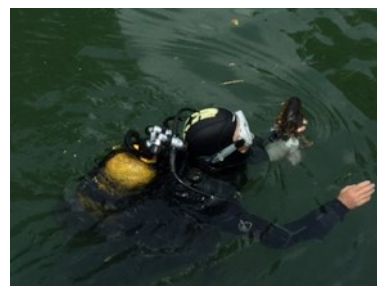



Figure 8. Sylvie Labroche

1. Letuppe J., Le Digol Y., Luzet C., Saulière N., Epaves antiques de Courbiac – Saintes-Fontcouverte (17). *Rapport final d'opération archéologique : fouille programmée* (2017) 286p.

***BORDEAUX : MUSÉE D'ART CONTEMPORAIN ET NOUVELLES COMMANDES
ARTISTIQUES DANS L'ESPACE PUBLIC MÉTROPOLITAIN -
ENJEUX DE CONSERVATION PARTAGÉS***

Anne Cadenet

Responsable des collections, CAPC Musée, Bordeaux

 a.cadenet@mairie-bordeaux.fr

Milena Paez Barbat

Chargée de mission inventaire et documentation du fonds commande artistique CAPC Musée, Bordeaux

 m.paezbarbat@mairie-bordeaux.fr

Questionner les enjeux de la conservation des œuvres d'art contemporain inventoriées dans les collections des musées de France et celles produites dans l'espace public invite à mesurer la richesse et la complexité des échanges liés à la production d'une œuvre et à sa future conservation. Du choix des matériaux aux attentes esthétiques de l'artiste en passant par les contraintes administratives, juridiques et d'ingénierie imposées par le projet, les enjeux liés aux binômes production/conservation reposent de plus en plus sur le partage de compétences entre les acteurs du projet et sur les stratégies documentaires qui l'accompagnent.

Une convention signée entre le CAPC musée d'art contemporain de Bordeaux et Bordeaux Métropole a permis, dès janvier 2016, la mise en place de groupes de travail visant à réfléchir aux problématiques liées aux œuvres de commande et aux stratégies de maintenance à « co-construire ». Deux œuvres dont il sera question au cours de cette communication : *Traversée*, de Cécile Beau et Nicolas Montgermont (2017) et *Les vaisseaux de Bordeaux* de Suzanne Treister (2018) font l'objet d'une étude collégiale, initiée par le CAPC.

L'art est intimement lié à l'histoire ou, devrait-on dire, à « des » histoires. Celles qui s'écrivent après coup¹, ou, et c'est plus rare, celles qui s'élaborent au moment même de la création de l'œuvre. C'est précisément à cet endroit précis de la naissance d'une œuvre que le CAPC musée tente de s'intéresser ces dernières années, en accompagnant la Métropole de Bordeaux qui développe un important programme d'œuvres dans l'espace public. Il ne s'agit pas pour le musée *d'écrire* l'histoire mais plutôt de *décrire* objectivement les origines de ce processus afin d'en comprendre les enjeux et de mettre en perspective le projet de l'œuvre et sa future conservation.

La ville est un espace où l'œuvre se révèle dans et par l'usage qu'elle suscite... Ni musée ni vitrine, elle s'offre à l'imaginaire des artistes comme un vaste territoire de recherche et de création où tout peut se créer mais surtout se transformer !

1. S'appuyant sur les archives et les documents disponibles

Les principaux axes de réflexions du CAPC sur les œuvres issues de la commande artistique s'articulent principalement autour de cinq problématiques :

- Que conservons-nous, pourquoi et comment ?
- Hormis la valeur esthétique propre à chacune des œuvres et qui les détermine en partie, quand y a-t-il véritablement œuvre ?
- Qu'est-ce qui relève de la maintenance de l'œuvre ou de sa restauration ?
- Comment mettre en œuvre une documentation stratégique qui relève à la fois du dossier d'œuvre mais constitue aussi une histoire matérielle et technique de sa production et de sa conservation ?
- Quels sont, en cas d'altérations ou de dysfonctionnements, les éléments susceptibles d'être considérés comme « des consommables » et ceux qui devront être étudiés puis restaurés par des experts de la conservation-restauration en collaboration avec l'artiste ou son ayant-droit, en lien avec l'équipe du CAPC musée et la métropole ?

La première de nos interrogations rejoint l'approche proposée par Nelson Goodman dans *Manières de faire des mondes*², où il affirme la contingence de l'œuvre d'art et propose de déplacer la question de l'essence de l'art par celle des modes de fonctionnement. Il suggère de ne pas s'intéresser uniquement à la valeur esthétique de l'œuvre considérée, mais plutôt à la relation entre l'objet et le récepteur. Approche qui dans le cadre de la conservation des œuvres issues de la commande artistique de Bordeaux Métropole nous apparaît pertinente.

La première étude dont nous souhaitons ici témoigner est celle qui concerne l'œuvre de Cécile Beau et Nicolas Montgermont *Traversée* (2017), implantée à Blanquefort. Sculpture métallique de prime abord, l'œuvre est constituée d'un rail ferroviaire de réemploi, modèle U50, qui semble se détacher des rails de service du tramway puis serpenter au sol avant de s'ériger verticalement sur plusieurs mètres, de manière à dessiner une courbe dans l'espace avant d'atteindre à nouveau le sol (Figure 1). La singularité de cette sculpture métallique réside surtout dans les effets qu'elle diffuse. Le rail est modifié dans sa forme mais reste identifiable comme tel alors que sa fonction se trouve détournée au profit d'un dispositif électrique et audio révélant les sonorités produites par le passage des rames du tram à quelques kilomètres en amont de la station.

Ce dispositif est constitué de trois accéléromètres fixés sur le rail de service qui mesurent les vibrations au passage du tramway. Le signal est transmis après traitement numérique et amplification, à un excitateur électromagnétique placé dans une fosse située sous la sculpture à l'endroit où elle retombe au sol. L'excitateur transmet les vibrations à la sculpture qui émet des sons perceptibles lorsqu'on est à proximité. Le rail devient ainsi le support d'une expérience métaphorique et sensible ayant pour source un leitmotiv populaire dans les westerns, celui des indiens qui accolaient leur oreille au rail afin d'anticiper l'arrivée des trains. Cécile Beau et Nicolas Montgermont ont ici imaginé une œuvre dédiée aux usagers du tramway qui réinterroge le « temps d'attente » en station et le transforme en une expérience sensible.

Lors de séances de travail avec les artistes au musée, Nicolas Montgermont souligne son intérêt pour l'œuvre d'Alvin Lucier, l'un des plus influents compositeurs de musique contemporaine qui envisagea un protocole quasi performatif visant à s'enregistrer puis à rejouer et se réenregistrer à nouveau, de manière à étudier la propagation du son et ses répétitions.

Avec *Traversée*, Cécile Beau et Nicolas Montgermont se sont intéressés aux vibrations produites régulièrement par le passage du tram sur les rails. Ces vibrations qui se répètent et se modifient avec l'usage et l'usure des rails et des rames, ont fait l'objet d'études afin d'être captées puis amplifiées de manière à induire un effet vibrant/sonore sur la sculpture.

2. Goodman N. *Ways of Worldmaking*, Trad de l'anglais par Marie-Dominique Popelard, Collection Folio essais, Gallimard (2006)



Figure 1. « Traversée » Gare de Blanquefort

Traversée est une œuvre qui se définit autant dans le matériau qui la constitue, une ligne d'acier cintrée partant du sol et sinuant dans l'espace, que par les effets qu'elle produit à partir d'un dispositif électroacoustique. Ces effets reposent sur des composants électriques et audio tels que listés par les artistes dans le cahier des charges de maintenance de l'œuvre, composants qui permettent des effets vibratoires et sonores élaborés et calibrés par les artistes. Une œuvre qui articule temps (celui de l'attente entre la captation du signal, son traitement et sa retransmission) et espace (le rail et son environnement) à partir d'une vibration dont la source n'est pas visible par l'utilisateur mais qui, par déduction, devient rapidement identifiable. Visuelle, sonore, tactile, cette sculpture vibrante est *animée* au sens étymologique du terme, la vibration donnant littéralement *vie* à l'œuvre.

Très rapidement, lors de nos discussions avec la MIREM³ et les artistes, les problématiques de conservation et de maintenance de cette œuvre sont apparues complexes, c'est pourquoi nous avons sollicité l'expertise d'un conservateur restaurateur, Olivier Steib, avec qui nous avons déjà travaillé sur une œuvre de Jenny Holzer, dépôt de l'État dans les collections du CAPC musée.

Sa contribution lors des échanges avec les artistes et la MIREM a permis de préciser l'importance dans le cahier des charges de la maintenance, des composants électriques absolument nécessaires au bon fonctionnement de « l'effet ». De même, l'ensemble des composants du dispositif électrique et audio susceptibles de présenter une obsolescence technologique à moyen et long terme devaient être identifiés, tout comme les acteurs impliqués dans la conception et production de cette œuvre. Les interlocuteurs étant multiples et les outils documentaires que nous utilisons pour nos inventaires insuffisants, l'élaboration d'un schéma organique et fonctionnel sous la forme d'une arborescence est vite apparue comme un outil qui pouvait hiérarchiser l'ensemble des informations collectées (Figure 2). Ce schéma permet d'une part d'identifier *quand il y a œuvre*, à propos de *Traversée*, et, d'autre part, de

3. Mission Rayonnement et Équipements Métropolitains, Bordeaux Métropole, et son chef de la commande artistique, Marie Fernandez

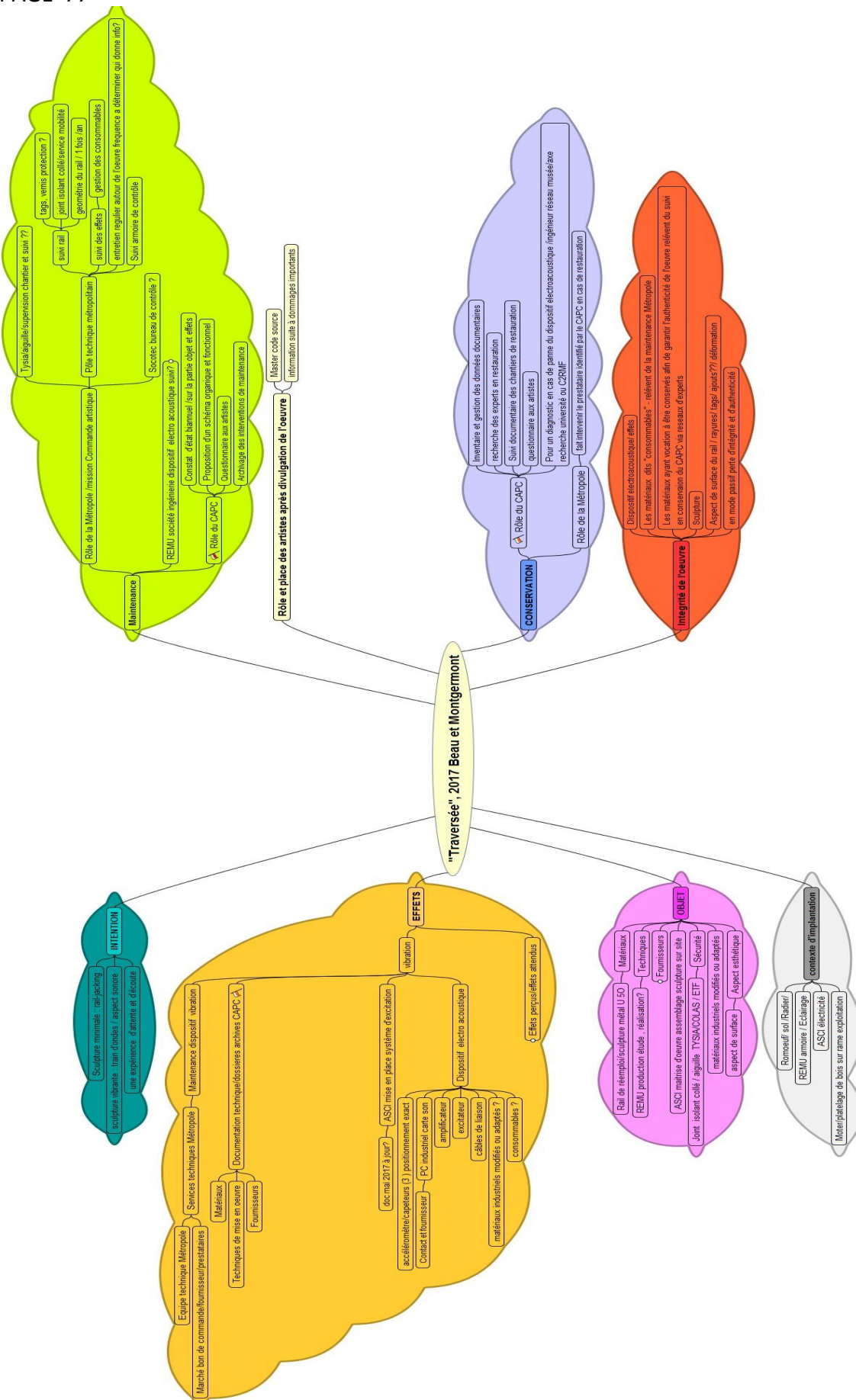


Figure 2. Schéma organique et fonctionnel de Traversée, ©CAPC

comprendre qu'elles ont été les différents acteurs de ce projet et leur implication de sa phase d'étude/conception, à sa phase de production puis de gestion et d'exploitation.

Le rôle des acteurs pour la maintenance de la partie vibratoire de l'œuvre ne nous semble pas, à ce jour, extrêmement claire. Les artistes restent encore les premiers interlocuteurs de la MIREM lors d'un dysfonctionnement du système électrique et audio. Si certains composants ont été identifiés comme interchangeables ou « facilement reproductibles » d'autres semblent plus complexes. La maintenance du dispositif électro-acoustique nécessite, d'une part d'identifier quelle doit être l'expertise du technicien ou de l'ingénieur qui réalise l'opération, et d'autre part de confirmer que l'intervention ne peut en aucun cas modifier le dispositif d'origine.

Si la partie émergée de l'œuvre, à savoir le rail, semble plus « classique » dans son approche en conservation-restauration, un constat d'état récent tend néanmoins à montrer que le diagnostic d'un conservateur-restaurateur spécialiste du patrimoine métallique peut être sollicité. Les rayures sur des zones assez bien circonscrites ainsi que les lacunes de vernis polyuréthane démontrent un usage détourné de la sculpture. Si le cahier des charges de la maintenance précise le choix du produit et les caractéristiques de sa mise en œuvre a priori relativement simple pour un technicien, l'usage de la sculpture comme « rampe de skate » tend à faire évoluer les premières orientations prises.

La prise en charge de la conservation de *Traversée* est, et doit être, collégiale. Les décisions doivent être le fruit de concertation entre les différents acteurs de la conservation, experts en conservation-restauration, conservateur, ingénieurs et fondées sur le respect du droit moral des artistes et sur les intérêts patrimoniaux de Bordeaux Métropole. La documentation constituée par l'équipe du CAPC en lien avec les différents acteurs du projet, de la conception à la production, doit être valorisée plutôt que capitalisée. La mission du CAPC interroge le devenir « matériel » de *Traversée*, veille à son authenticité et à son intégrité matérielle et historique. Pour cela, nous conservons de manière systématique toute information « hétérogène » et travaillons à la rendre accessible.

Témoigner de l'œuvre dans tous ses états : Diversification des acteurs

De plus en plus, mais finalement cela a sans doute toujours été le cas de manière protéiforme, l'artiste ne travaille pas de manière isolée, mais en équipe pluridisciplinaire (avec des ingénieurs, bureaux d'étude, architectes). Ce croisement des compétences, que l'on pourra interroger lors de la présentation d'Éric Troussicot, François Chesnot et Alejandra Balboa à propos de l'œuvre *Les vaisseaux de Bordeaux* de Suzanne Treister, nous invite à nous demander comment le musée, dans le cadre d'une commande publique, peut se positionner ? Cette interrogation préalable redouble et s'accroît quand il s'agit d'approcher une œuvre qui doit respecter des cahiers des charges successifs et se plier à un champ de restrictions et d'impératifs propres à ce domaine. Car il s'agit tout autant de donner « forme » à l'objet que de lui attribuer une viabilité, au sens de naissance et de pérennité, que de prendre en considération les rôles respectifs du maître d'œuvre, de l'ingénieur et du conservateur-restaurateur.

Une commande artistique - à ce titre - est-elle une commande « normale » ?

Partant de ce postulat de l'œuvre comme résultante d'une chaîne d'opérations et de compétences d'experts, nous avons questionné la forme du dossier d'œuvre conventionnel pour lui assigner une nouvelle portée, « ouverte » et prospective. C'est en tout cas l'armature, voire l'ossature de départ, que nous avons adoptée avec Anne Cadenet, et ce, dès la signature de la convention qui nous lie par délégation scientifique, au corpus d'œuvres de commandes métropolitaines.

D'emblée, des limites s'imposent à une appréhension trop « libertaire » du dossier d'œuvre : respect de la provenance des documents et du service producteur, [« verneur » diraient nos collègues archivistes], un des fondamentaux de la science archivistique. Car le dossier d'œuvre n'est pas une collection *arrangée* de documents mais doit répondre à une cohérence intrinsèque de production, et, *a posteriori*, de communication. Il ne faut pas perdre de vue le lien organique unissant chaque document à l'entité qui l'a produit mais en même temps intégrer la pluralité

de regards et d'intentions qui se jouxent à l'intention générale de production de l'œuvre, leur donner une existence dans l'histoire matérielle de la pièce étudiée.

Si le CAPC n'est pas ici à proprement parler « producteur » de sources archivistiques (rôle endossé par la maîtrise d'ouvrage – Bordeaux Métropole) et les services connexes concernés (internes, prestataires, sous-traitants), mais plutôt collecteur de documentation, il s'agit de synthétiser l'ADN et l'histoire matérielle évolutive d'une œuvre de commande, et ce, dès sa phase de conception, et d'accompagner une collectivité dans les problématiques de conservation qui s'en suivent.

Certains *documents types* composent la partie « administrative » des dossiers d'œuvres (contrats d'étude, contrats de réalisation, délibérations de conseils), partie juridico-légale restant assez figée, alors qu'en contrepoint, une manne documentaire plus spécifique échappe à toute généralisation, car certaines œuvres sont conditionnées par leur spécificité fonctionnelle et matérielle.

Une grande partie du dossier concerne également l'histoire de la réception : actes de vandalisme, rejets, polémiques... histoire tout à la fois matérielle et culturelle qui renseigne ainsi conjointement l'historique de la réception de la pièce (dans le cas d'actes intentionnels) et informe également des dommages occasionnés au cours du temps.

Le dossier d'œuvre contient en ce sens : documents d'archives, sources premières dupliquées au CAPC⁴, procès-verbaux et documents de travail formalisés par des services transverses, tels les questionnaires adressés aux artistes par le CAPC, qui éclairent la partie névralgique des dossiers : les informations concernant l'intention artistique.

Si l'artiste bénéficie habituellement d'un champ libre en matière de création, il doit ici obéir au cadre de la commande en répondant à un appel à projet, à partir d'un cahier des charges bien défini. Il doit également considérer l'imposante échelle d'intervention que sous-tend l'espace public, en ayant bien souvent recours à des partenariats de compétences et en prenant garde à intégrer une pluralité d'acteurs exogènes au monde de l'art. L'œuvre de commande se distingue en cela des normes habituelles de la création artistique. Elle permet un jeu combinatoire singulier entre art, science et technologie. Elle s'astreint également à l'injonction de rythmes lents de validations administratives (comme par le passé les commandes centralisées d'État sanctionnées par le bureau des travaux d'art), des échanges fragmentés malgré la visée d'une collaboration continue, dus en partie à un inévitable hiatus rythmique dans les agendas des uns (collectivités, institutions, comités artistiques, artistes) et des autres (maîtres d'œuvre, ingénieurs, prestataires) qui intègrent ces projets de commandes artistiques dans leurs carnets de commandes habituelles. Le dossier d'œuvre doit ainsi composer avec ces arythmies momentanées, intégrer la contrainte d'une temporalité diffractée.

Ainsi, tout en respectant la provenance des fonds et leur organicité individuelle, il est envisageable de montrer à quel point les regards se complètent, s'interrogent voire s'émulent pour « donner forme ». Certains dossiers dévoilent donc l'intention des artistes et leur correspondance avec les maîtres d'œuvres ou services techniques, voire sont complétés des propres archives des prestataires sous forme d'appendice. Les notes d'intention évoluent au gré de ces fines négociations et échanges, parfois les projets se remodelent en conséquence, comme des phénix.

À cela se joint la manne documentaire réalisée par l'équipe chargée de la conservation des œuvres (questionnaires, inspections, constats d'état sommaires) et aux restaurateurs missionnés sur des expertises et diagnostics ponctuels (dossiers de restauration, rapports d'étude et d'analyse de chantiers-écoles), pour contribuer à un suivi optimal des œuvres. Le dossier d'œuvre est en cela tout sauf inerte, il s'étoffe de manière contributive et bien souvent rétrospective ou rétroactive, il est potentiellement « infini », car l'œuvre, une fois implantée dans l'espace public est imprescriptible.

4. Une partie de ces sources sont aujourd'hui toujours utilisées comme archives courantes par la Mission Rayonnement et Équipements Métropolitains dans laquelle siège le Pôle commande artistique (Bordeaux Métropole), pour suivi de gestion et post-production. Nous avons donc pris le parti de procéder aux copies systématiques des pièces administratives, afin que ces dernières figurent dans la partie administrative du dossier d'œuvre constitué et conservé au CAPC

Problématiques d'inventaire : des œuvres hors catégories

Diversification progressive des média utilisés : Formes – fonctions – usage(s)

Au-delà de la difficulté de dévoiler les dessous du *modus operandi* et la polyphonie du faire, nous voilà vite très limités par les outils d'inventaire existants, qui, bien souvent, ne permettent pas d'interroger les modes d'indexation par domaines et nous conduisent à des impasses, à des voies sans issues...

Que dire, par exemple, des œuvres dont la nature se situe à la jonction entre sculpture et mobilier urbain ou artefact graphique : tels les panneaux coupe-vent des abris de tramway signés du collectif STALKER, ou encore les *Tick-artes* (tickets de tramways) édités en édition limitée pour le lancement des lignes de tramway sur l'ensemble de la Communauté urbaine de Bordeaux ? ces œuvres « fonctionnelles », à usage unique ou multiple, interrogent davantage la temporalité d'exploitation que la date de création initiale.

La plupart des œuvres dans l'espace extérieur subissent les sévices – même involontaires - des populations qui s'en emparent, qui se les approprient physiquement. *Le Lion* de Xavier Veilhan (2005), plus qu'un monument, est devenu un signal totemique dans la ville ... un point de repère, une ponctuation dans l'espace urbain. À l'usage des lieux, s'incorpore ainsi toute une série de nouvelles pratiques urbaines (*parkour*, sports de glisse, etc.) qu'une collectivité – à juste titre – ne pourra jamais endiguer ou contrôler. L'histoire matérielle est ainsi tributaire d'un vieillissement accéléré, de circonstances aggravantes (abords, altérations climatiques, mécaniques, structurelles).

Contrairement à nos homologues anglo-saxons, les recherches croisées dans le champ de la documentation et de l'inventaire dans ce domaine sont encore en France très frileuses et intra-institutionnelles. De grands programmes internationaux tels « Inside installations », ou les modules mis en place par le Getty Conservation Institute nous montrent – quant à eux – qu'un travail de *vademecum* et d'usuels de bonnes pratiques⁵ doit être amorcé afin de tenter d'élaborer la meilleure méthodologie multipartenariale possible et après retour d'expérience.


Chantiers-écoles, programmes pluridisciplinaires nous mènent à nous interroger collégialement sur l'état des lieux de la connaissance que nous avons des matériaux constitutifs de ces œuvres « d'un nouveau type » et de leur vieillissement pour à dessein interroger les réflexions en cours : Comment décrire, analyser, comparer, définir et conserver ces nouvelles formes et pratiques dans l'espace public ?

5. Édition de « *guidelines* », lignes de conduite directrices générales et spécifiques réunies sous forme de consignes ou recommandations à destination des professionnels et principaux acteurs du secteur

LE VAISSEAU SPATIAL DE SUZANNE TREISTER, TÉMOIGNAGE À PLUSIEURS VOIX SUR LA CONCEPTION, PRODUCTION ET POST-PRODUCTION D'UNE SCULPTURE MONUMENTALE DANS L'ESPACE PUBLIC ET RÔLE DU CONSULTANT EN CONSERVATION PRÉVENTIVE DANS LE CADRE D'UN PROJET PLURIDISCIPLINAIRE


Eric Troussicot

Maître d'œuvre et co-réalisateur du *Vaisseau spatial* de Suzanne Treister, B.O.L.D Architecture, Bordeaux

 eric@bold.li

François Chesnot

Architecte HMONP, Concepteur d'études en mécanique, Métalobil, Nantes


 francois@metalobil.fr

Alejandra Balboa

Laboratoire de Conservation, Étude et Restauration des biens culturels Métalliques et Composites (LCERMC)

Conservateur-restaurateur, spécialiste des biens culturels métalliques, Consultant en conservation préventive

Archéomètre

 conservation_lab57@yahoo.fr

Suzanne Treister, *Le vaisseau spatial*¹, 2017

Artiste

« Suite à des conférences et visites, je me suis rendue compte que la ville de Bordeaux est de plus en plus tributaire des technologies (s'agissant aussi bien des technologies de pointe que d'autres plus anciennes) pour survivre et pour éviter que la ville ne soit entièrement submergée, et que cette menace historique ne cesse d'augmenter, concomitamment à la hausse du niveau de l'eau liée aux changements climatiques.

Pendant la croisière sur la Garonne, j'ai été frappée non seulement d'apprendre que de nombreux bateaux datant de la Seconde Guerre mondiale se trouvent toujours au fond du fleuve, mais aussi de voir ces mêmes épaves émerger des eaux.

(...) j'ai ressenti à nouveau combien les événements de Seconde Guerre mondiale étaient encore très présents dans la psychologie de la ville, comme si les souvenirs flottaient juste en dessous de la surface de l'eau, tout comme ces navires de guerre, prêts à réémerger.

(...) Il m'est venu à l'esprit d'extraire un de ces bâtiments de guerre de la Garonne et d'en faire autre chose, comme par un processus alchimique : la transformation d'un objet en un autre, l'incarnation d'un processus physique de changement dans la ville. J'ai donc eu l'idée de faire un vaisseau spatial.

1. Bordeaux Métropole développe un important programme de commandes d'œuvres d'art contemporain. Lancé en 2002 avec la construction du tramway dans le cadre de la procédure de commande publique du Ministère de la culture, il se décline aujourd'hui dans la commande artistique Garonne. Celle-ci prend le fleuve pour élément fédérateur et s'inscrit dans les débats relatifs à l'urbanisme, l'écologie, à la gestion des eaux, la requalification et la dynamisation des espaces publics, au développement de l'économie et de la recherche, qui participent des transformations en cours à l'échelle d'un vaste territoire. C'est dans ce contexte qu'en 2013, Bordeaux Métropole a invité Suzanne Treister à travailler sur son territoire. Le projet créé par l'artiste consiste en un triptyque – intitulé *Les vaisseaux de Bordeaux* – composé de trois créations monumentales interdépendantes implantées dans trois zones du territoire métropolitain, proposant une réflexion ambitieuse sur l'usage des technologies liées à la ville et à son histoire. Première œuvre réalisée, *L'observatoire/Bibliothèque de science-fiction* a été installée à Flouirac en juillet 2017. *Le vaisseau spatial* a été inauguré le 7 juin 2018 Quai Armand Lalande, aux Bassins à flot de Bordeaux. Un dernier opus, *Le puits/Bibliothèque Jacques Ellul*, viendra parachever l'ensemble en 2019-2020

(...) *J'ai visualisé la transformation d'un de ces navires de guerre, en un vaisseau spatial lumineux inspiré mais éloigné du modèle du bâtiment de guerre, qui soulèverait l'Histoire pour la transposer dans l'époque actuelle et la diriger vers un avenir hypothétique, à la fois comme un rappel de la guerre et du conflit et comme un encouragement à envisager un avenir différent, pouvant être appréhendé et interprété.² »*

Témoignage d'Éric Troussicot³

« J'ai endossé ce rôle de cheville ouvrière, fraiseuse, de *tête fraisée*, entre la volonté de l'artiste, son idée, qui relève d'un projet très littéraire, très encyclopédique, très fouillé, très dessiné... et la réalisation de l'oeuvre. Le rôle que j'ai eu à ses côtés a consisté à donner forme à cela. Je ne peux que la remercier de m'avoir fait confiance et permis de travailler à ses côtés pour lui proposer une mise en volume de ses idées. (...) »

La mise en forme des idées de Suzanne Treister reposait sur une volonté d'être à la fois dans la plus grande simplicité possible et en même temps de porter une oeuvre d'une grande complexité. Un projet vécu finalement comme une métaphore du travail de l'artiste.

L'objet « soucoupe » est légèrement incliné, scintillant et se reflète dans l'eau. S'ajoute cette mythologie autour du rayon de la soucoupe qui donne l'illusion de son décollage ou au contraire signifie sa descente, ou qui active sa propulsion et donne ainsi l'illusion de sa suspension dans les airs. (...) Il fallait donner l'impression que cet objet se miroite dans les eaux du bassin tout en étant miroitant, que le vaisseau ait une pesanteur indescriptible et indéfinissable. Nous devons donc imaginer des solutions permettant une légère inclinaison du vaisseau pour donner l'impression que cet objet décolle ou amerrit.

Mais quelle devait être la forme de ce vaisseau ?

Le modèle iconique de la soucoupe volante repose fondamentalement sur une forme ovale répondant à des prérogatives et des lois d'aérodynamique, car dans notre imaginaire, elle est censée tourner sur elle-même. (...)

Les grandes problématiques de construction abordées ensuite ont consisté à réfléchir aux manières de maintenir la soucoupe au-dessus des eaux en déterminant l'inclinaison la plus appropriée pour pouvoir résister aux différents rapports de forces. (...)

Restent la matérialité même de la soucoupe et ses qualités « extérieures ». Après désillusions et d'incessantes recherches, j'ai redécouvert le travail de Métalobil à Nantes avec qui nous avons contractualisé. Nous avons abandonné l'option visant à utiliser de l'inox et notre choix s'est porté sur l'aluminium, plus léger et plus facile à construire. On a tenté de calquer les méthodes de l'aviation pour concevoir la soucoupe et je me suis dit qu'on n'y arriverait jamais à cause du cintrage des éléments de la soucoupe en 3 dimensions. Et là, il y a eu cette *rencontre* avec l'équipe de Métalobil, une rencontre extraordinaire, pourvoyeuse d'idées et de bon sens. »

2. Suzanne Treister, *Les vaisseaux de Bordeaux*, Milan : Silvana Éditoriale, (2017) 122-123

3. Eric Troussicot : propos relevés lors de sa communication à la journée d'étude « De l'intention à la conservation d'une oeuvre, quand l'artiste nous met à l'épreuve », journée d'étude autour du projet de Suzanne Treister organisée par le CAPC musée, 30/09/2016, Auditorium du CAPC musée d'art contemporain de Bordeaux

Témoignage de François Chesnot

Une commande artistique est toujours une commande un peu particulière, car il ne s'agit pas seulement de résoudre un sujet constructif (faire que l'objet tienne), il s'agit de faire une synthèse entre un désir, un propos, une esquisse initiale de l'artiste et les différentes contraintes qu'implique la situation réelle de l'œuvre.

Ce travail nécessite de se positionner suivant plusieurs points de vue, afin de garder toujours à l'esprit la dimension plastique de l'œuvre et sa résolution technique. C'est suivant cette posture que nous avons abordé l'étude du vaisseau spatial. Aborder un ouvrage comme celui-ci, par sa dimension plastique, permet de garder cette idée comme objectif structurant et qui nous accompagne ensuite dans la résolution technique.

Ainsi, la clé de ce projet se situait dans notre capacité à produire un habillage qui conserverait la fluidité de la forme tout en restant dans un langage rappelant l'histoire de l'aviation. Nous avons alors proposé un habillage en lames d'aluminium anodisé, assemblées par rivet suivant un principe particulier et qui permet de produire des formes courbes. Ensuite, il fallait résoudre la stabilité de l'ouvrage perché sur ses poteaux, en gardant le dynamisme de l'esquisse de référence.

Une fois ces grands principes constructifs posés, vient le travail d'ingénierie du projet avec le développement d'un programme permettant de mettre en œuvre l'habillage, à l'aide du logiciel *Rhinoceros* et du module *Grasshopper*, une phase de prototypage pour tester en grandeur nature la résistance des éléments développés, leur agencement les uns par rapport aux autres et les tests de rendu d'anodisation suivant les nuances d'aluminium retenues. En parallèle, tout un travail de conception autour de la charpente métallique intérieure permettant de stabiliser l'ouvrage dans l'espace.

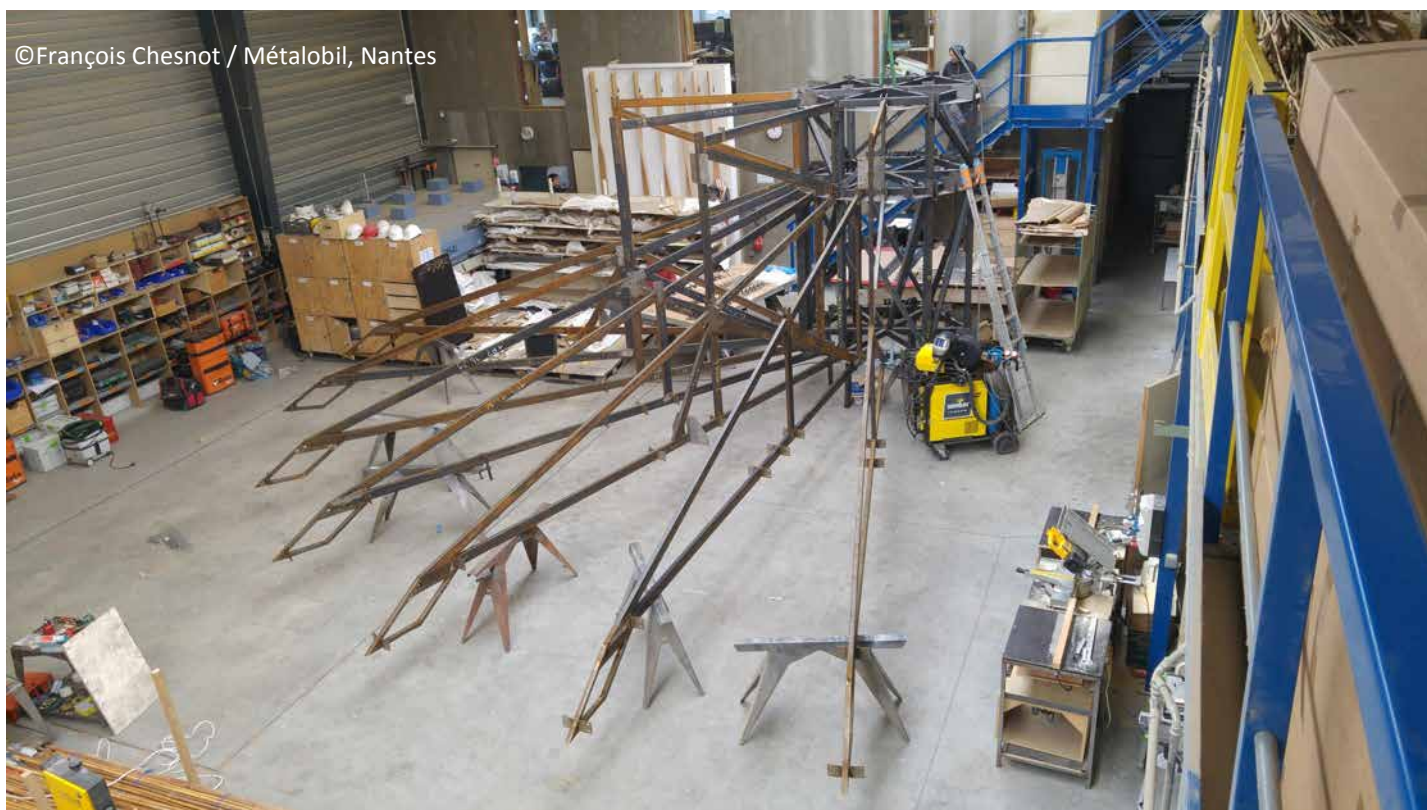
Début 2018, vient le temps de la fabrication en atelier avec l'assemblage des lames en aluminium qui représentent 5400 éléments assemblés par plus de 130 000 rivets pour 1471 lames installées en habillage de la soucoupe. Ces lames étant ensuite anodisées avant pose définitive. En parallèle, tout le travail de charpente métallique avant traitement par galvanisation puis assemblage à quai sur le chantier.

Le montage s'est lui déroulé en deux temps, une première phase de montage à l'horizontal à 2m du sol, afin de pouvoir facilement travailler dessus et dessous la structure, puis une seconde phase après une opération de levage, pour réaliser les finitions à 12m du sol avant la mise à l'eau définitive et les quelques finitions *in situ*.

À présent que ce travail de fabrication est terminé, l'ouvrage se transforme et change de nature car il n'est plus un simple ouvrage manufacturé mais il devient l'œuvre de Suzanne Treister, un objet de patrimoine qui va désormais accompagner la ville dans son voyage dans le temps.



©François Chesnot / Métalobil, Nantes



©François Chesnot / Métalobil, Nantes



©François Chesnot / Métalobil, Nantes



©François Chesnot / Métalobil, Nantes

Témoignage d'Alejandra Pont-Balboa, rôle du spécialiste en conservation préventive et matériaux du patrimoine

Introduction

Du point de vue de la conservation préventive, la problématique de l'œuvre présente deux aspects fondamentaux :

Intrinsèque : nous avons là un objet métallique mixte, composé d'aluminium et d'acier inoxydable galvanisé, en environnement humide et relativement salin, ce qui implique un premier risque de corrosion. Pour les éléments qui supportent la tension du poids de l'œuvre, il y a un risque ajouté de corrosion par tension ou contrainte. La structure métallique soutenant l'œuvre est partiellement immergée, ce qui implique un risque de corrosion différentielle sur la zone de flottaison.

Extrinsèque : risque de corrosion environnementale, qui peut certainement déclencher de la corrosion liée à la présence de sels, notamment les chlorures, ou d'autres particules métalliques ou polluants.

Les objectifs de l'expertise étaient de déterminer la nature et durée de l'entretien de l'œuvre, à court et à long terme, afin de prévoir la logistique, le coût...en somme, la durabilité du projet. Ceci implique de prévoir le vieillissement naturel des matériaux et d'obtenir des renseignements suffisants concernant les matériaux et techniques de l'œuvre, afin de pouvoir réagir rapidement en cas d'incident ou imprévus futurs (dégradations, accidents, vandalisme). En somme, l'évaluation préalable des risques afin de minimiser leur impact sur l'œuvre. L'impossibilité d'agir sur l'environnement impliquait un choix technique durable.

Si l'on s'en remet aux utilisations fréquentes et actuelles : l'aluminium et l'acier inoxydables font l'objet d'un usage récent appliqué au domaine du patrimoine culturel (XIX^e, XX^e siècles). D'autre part, les protocoles de conservation et d'entretien de la sculpture métallique en plein air sont encore en cours de développement. Les solutions et le suivi proposés sont limités (lavages à base d'eau distillée, cirages, couches de protection...). Les publications concernant les choix techniques et les protocoles de conservation de l'aluminium et acier en environnement marin en plein air relèvent plutôt de l'industrie, voire de l'industrie nautique.

La méthodologie proposée comprenait la documentation rigoureuse des matériaux et techniques de fabrication afin de pouvoir remplacer éléments ou couches de protection dans le futur, si besoin. Cela impliquait également l'évaluation de l'adaptabilité des matériaux et techniques au milieu, de se renseigner sur les protocoles habituels de maintenance dans le domaine sculptural en général, et sur les alliages aluminium et fer en particulier, en extérieur, afin d'établir des protocoles précis d'entretien. La méthodologie proposée dans le projet impliquait :

- L'établissement d'une base de données détaillée et solide comprenant tous les agents concernés : techniciens, bureaux d'études, fabricants et fournisseurs...
- La connaissance de la durée estimée des matériaux en fonction des techniques de fabrication.
- La compilation de renseignements sur l'entretien de structures métalliques portuaires et bateaux.
- L'analyse précise de l'environnement.

La proposition initiale de travail, du point de vue de l'expertise, impliquait :

- Une mise à disposition de renseignements sur la nature des matériaux par rapport à leur environnement.
- Des renseignements et préconisations sur l'incidence des techniques sur la conservation.
- La réalisation d'une grille de matériaux/techniques (documentation), comprenant des données précises, telles que : fabricant, fournisseur, références exactes, et si possible, fiche technique du produit, agents impliqués, etc.
- Un récapitulatif sur les choix de matériaux (après grille et décisions de la part de bureaux d'études, artiste, techni-

ciens.)

- Des échanges avec des professionnels de la construction et entretien de structures métalliques portuaires et navales.

- Une recompilation de retour final.

L'ensemble de ce *process* de collecte devait aboutir à une proposition d'entretien.

Discussion : étude des matériaux de l'œuvre et de son environnement par rapport aux choix retenus

L'Environnement

La zone des Bassins à Flot est atteinte par les marées et la confluence de courants d'eau salée et douce, qui contribuent à donner à la Garonne sa couleur marron. La teneur de sel dans la Garonne est autour de 3-7%. Il ne faut pas négliger ainsi, l'impact de la présence de ces sels dans la conservation de l'œuvre, différent de la conservation d'une œuvre entourée exclusivement d'eau douce.

Les matériaux

Aluminium

L'aluminium est un métal normalement très résistant à la corrosion et malléable, permettant la déformation nécessaire à la mise en forme de l'objet. Il s'agit par ailleurs d'un alliage qui s'auto-protège, car il génère naturellement une patine stable et protectrice. Cependant, en milieu marin, les chlorures présents dans les sels ont tendance à provoquer une rapide corrosion de celui-ci, car la présence de ces éléments perturbe la stabilité du matériau, empêchant la formation de cette patine stable. Un aluminium non adapté ou non correctement protégé pour un environnement marin, peut être amené à céder très rapidement, sous l'action de la corrosion.

D'autre part, il en existe une grande variété dans la gamme d'aluminium disponibles dans l'industrie et le commerce, mais chacune d'elle aura une réponse différente aux agressions de l'environnement en fonction de la teneur et de la composition des éléments constitutifs de l'alliage. Par exemple, le duraluminium (gamme 2000), alliage proposé initialement, qui contient du cuivre, est peu adapté au milieu marin, et à proscrire, bien qu'il soit utilisé notamment dans l'aéronautique. Par contre, la gamme 5000 (aluminium allié au magnésium) est fréquemment utilisée en environnement marin, en particulier le 5083 et le 5086. Il s'agit d'alliages qui détiennent des vertus d'autoprotection.

De la même façon, tous les revêtements ne sont pas adaptés aux environnements marins et fluviaux. Le plus pertinent reste l'emploi d'aluminium anodisé ou laqué spécifiquement pour le milieu marin, fabriqué par un atelier agréé, permettant l'obtention de garantie décennale. Un traitement chimique préalable de surface est souvent nécessaire à l'application de ces revêtements. Cette dernière caractéristique entraine en conflit avec l'effet *miroir poli* souhaité initialement par l'artiste. Pour ces revêtements, il existe certainement des labels de qualité : qualimarine, qualicoat, etc.

Une option de laquage (peinture en poudre cuite au four) avait été aussi envisagée. Certains de ces revêtements sont anti-adhérents, ce qui contribuerait à faciliter l'entretien de l'œuvre. Le choix de la peinture est essentiel, il aura un impact important sur la conservation de l'œuvre.

S'il était nécessaire de considérer ces agents séparément, la vision d'ensemble et la recherche d'un compromis étaient nécessaires au moment d'évaluer les options techniques possibles. Souvent les teneurs en éléments « anticorrosion » dans l'aluminium, tels que le magnésium, principal modificateur de la gamme 5000, ont une incidence sur le taux de déformation. De même pour les traitements de surface, l'aluminium anodisé présente une importante résistance à la corrosion, mais il est contraignant dans les grandes déformations. C'est pourquoi il faut

anodiser, dans ce cas, après déformation, en fonction du taux de déformation nécessaire à la mise en forme de l'œuvre.

Dans ce cadre de préconisations, le choix d'un Alucobond 5000 anodisé avec un traitement labélisé pour environnement marin est un choix plutôt pertinent et favorable à la conservation de l'œuvre.

Acier

La plupart des aciers sont attaqués en milieu marin, y compris les « inoxydables », qui composent des alliages acier/chrome. Le travail de recherche documentaire dans le domaine industriel a abouti à la proposition d'une fourchette de gammes adaptées à ces circonstances :

Par exemple, pour les environnements agressifs en général : la série d'aciers inoxydables austénitiques, qui sont normalement employés dans les industries chimiques et autres milieux corrosifs. Ils sont améliorés par l'ajout de nickel, chrome et notamment molybdène. Cette gamme présente une bonne résistance à la corrosion localisée : piqûres, cavernuse (typique des métaux en environnements humides et salins). Donc, elle est recommandée pour les milieux marins.

Parmi ceux-ci, nous pouvons mentionner la Nuance 316 : 18% Cr- 10% Ni- 2,5% Mo, notamment la 316 L avec une teneur en C < 0,03%, surnommée « marine ». Il existe aussi des nuances complémentaires : 317 L avec Mo 3,5 %, encore plus résistante.

Pour les biens métalliques d'investissement :

Alliages « super-inoxydables », aussi dits Duplex austeno-ferritiques. Ils présentent une résistance à la corrosion améliorée par rapport aux 316L /317L dans tous les milieux. Il s'agit d'une gamme recommandée pour les applications marines difficiles telles que les usines de désalinisation. Il s'agit d'une nuance très haut de gamme, dite « super-inoxydable ». Les choix proposés dans cette gamme sont :

Nuance 904L :20%Cr-25%Ni-4,5Mo (Uranus B6) -Nuance 2209 : 22%Cr-5%Ni-3 Mo. Il s'agit d'une Nuance à structure mixte, avec bonne résistance à la corrosion générale et résistance à la corrosion sous tension, en particulier en présence de H₂S.

Nuance 2205 : standard des nuances duplex, en milieux agressifs (pétrole-gaz, eau de mer, dessalement, pâte à papier, chimie et pétrochimie...), avec une teneur en Cr 22 % 1,5 % - 3 % de Mo, 15-0,25 % d'azote.

Nuances superduplex : 25 % Cr, 6-7 % Ni, 3,5-4 % de Mo, 0,25-0,4 % d'azote. Peuvent contenir des additions complémentaires de tungstène / cuivre. Ils peuvent résister dans des milieux très corrosifs, y compris l'eau de mer chaude.

Alliages conçus pour l'environnement marin : aciers inoxydables ferritiques (série 400 ASTM) :

Ces aciers à structure ferritique et à faible teneur en carbone (< à 0,1 %), notamment ceux qui présentent une très haute teneur en chrome (22-25 %) et "super-ferritiques" (>25 % de chrome et < 3 % de molybdène), présentent aussi une résistance à la corrosion améliorée dans les milieux chlorurés, dont l'eau de mer, toujours à des pH plus ou moins neutre. La teneur nickel (jusqu'à 4 %) incrémente leur ténacité.

Le choix technique final (par les agents impliqués), d'un alliage S235 JR - *un acier d'usage courant dans l'industrie* - a été compensé par la galvanisation de la structure en acier, c'est-à-dire, la création d'une couche sacrificielle de zinc. Elle bénéficie d'une bonne résistance à la corrosion mais présente l'inconvénient de se dissoudre assez rapidement dans l'eau salée, car l'usure est majeure, aggravée par la présence de l'électrolyte apportée par les chlorures, parmi d'autres polluants contenus dans l'eau. La couche de galvanisation a été calculée par les responsables du projet en tenant compte de ces aspects, d'après les grilles proposées par la norme EN ISO 14713.

Choix techniques

Afin de réduire le risque de corrosion du point de vue technique, nous avons évoqué l'importance d'une protection géométrique, ce qui implique d'éviter les formes/textures susceptibles de piéger l'eau. Ce principe est très présent dans le design de l'œuvre.

Dans cette perspective, il était important de privilégier les finitions lisses, afin d'éviter de piéger l'eau et les polluants qui jouent un rôle important dans la corrosion.

En ce qui concerne les assemblages, le fait de privilégier le boulonnage sur la soudure augmente aussi la résistance de l'objet, car la température ponctuelle apportée par soudure risque de favoriser la corrosion différentielle.

Afin de contourner l'incompatibilité galvanique entre les alliages, la pose d'un bouchon alcalin capable d'isoler les surfaces entre elles a été préconisée par l'architecte.

En ce qui concerne le risque de corrosion par aération différentielle sur la zone de flottaison, une protection galvanique s'imposait. Parmi les solutions envisageables, dont l'application d'anodes sacrificielles, seule l'option de galvanisation de l'acier a été retenue.

L'emploi d'hydrofugeant pour peinture avait aussi été considéré, afin de prolonger la durée de la couche de protection. Normalement ces produits à base d'huiles et/ou silanes sont plutôt préconisés pour les matériaux poreux, aucun retour de son application directe sur les métaux peints n'ayant été réalisé à ce jour. Finalement, cette proposition n'a pas été retenue.

Choix d'entretien

Les préconisations industrielles fournies pour les fabricants pour l'entretien de l'alucobond, impliquent un lavage à l'eau distillée et, éventuellement, au moyen de détergents neutres, tous les six mois, ainsi qu'un essuyage de la surface à l'aide de chamoises spéciales. Ce procédé d'entretien est parfaitement compatible avec le code déontologique de la conservation-restauration car il n'est pas susceptible de provoquer des altérations sur l'objet, et il est prescrit dans des nombreux guides d'entretien de sculptures en plein air. Cette procédure est retenue, avec de légères modifications, dans le cahier des charges final. Il reste à en préciser la périodicité d'intervention.

D'autre part, les révisions visuelles annuelles préconisées dans le cahier des charges de maintenance coïncident avec les critères préconisés dans les guides de conservation des sculptures en extérieur. La révision, tous les 5 ans, des poteaux, avec un assèchement prévisionnel du bassin, restent à calibrer.

Conclusions et perspectives

L'étude préalable d'une œuvre d'art contemporain installée dans l'espace public, en conservation préventive, intégrant nécessairement le paradigme de la durabilité anticipée, relève d'une approche innovante dans le domaine de la conservation-restauration.


Dans notre cas, le rôle du consultant en conservation préventive et spécialiste en matériaux du patrimoine culturel était un rôle de conseil externe, en aucun cas décisionnaire, ce qui limite l'impact des préconisations arrêtées, en particulier quand la figure du conservateur-restaurateur et spécialiste des matériaux du patrimoine culturel est mobilisée une fois le projet amorcé et budgétisé. Ceci implique des modifications de choix techniques et des modifications d'implications budgétaires prévus et arrêtés à l'avance. Par ailleurs, le consultant extérieur en matériaux du patrimoine culturel doit respecter les choix esthétiques de l'artiste et les orientations artistiques qui lui reviennent de droit, ainsi que les choix techniques de l'architecte et de l'ingénieur.

Malgré tout, ces obstacles ont pu être au moins partiellement contournés, et un compromis a été trouvé dans une approche réaliste qui a retenu les modifications essentielles pour une meilleure conservation et entretien de l'œuvre, et abouti à un cahier des charges qui respecte les besoins spécifiques de la soucoupe, à mi-chemin entre l'approche industrielle, à cause de ses dimensions et de sa nature intrinsèque, et les lignes déontologiques essentielles en conservation préventive, qui nous ramènent à sa condition imprescriptible d'œuvre d'art.

LA STABILISATION DE LA CORROSION ACTIVE DES OBJETS ARCHÉOLOGIQUES EN ALLIAGE CUIVREUX AVEC *BEAUVERIA BASSIANA*

Naïma Gutknecht

Étudiante à la Haute École Arc Conservation-restauration, HES-SO University of Applied Sciences Western Switzerland, Espace de L'Europe 11, 2000 Neuchâtel, Switzerland

 naima.gutknecht@he-arc.ch

Edith Joseph

Scientifique en conservation à la Haute École Arc Conservation-restauration, HES-SO et au Laboratory of Technologies for Heritage Materials, Institute of Chemistry, University of Neuchâtel, Avenue de Bellevaux 51, 2000 Neuchatel, Switzerland

 edith.joseph@unine.ch

Résumé

Des études récentes ont révélé la possibilité d'utiliser le champignon *Beauveria bassiana* sur les alliages cuivreux afin de convertir les produits de corrosion chlorés en oxalates de cuivre qui sont plus stables. Cette étude vise à démontrer les modifications engendrées par le traitement biologique sur la corrosion active en se concentrant sur les cas des pustules de corrosion et des surfaces étamées. Les résultats ont démontré que des chlorures de cuivre synthétiques étaient transformés en hydroxychlorures de cuivre, puis en oxalates de cuivre. Un développement d'oxalates de cuivre a aussi été confirmé sur des coupons corrodés artificiellement. De plus, le traitement d'objets archéologiques de période romaine a prouvé la stabilisation de la corrosion active jusqu'à une certaine profondeur (des chlorures de cuivre étant présents à l'interface métallique des objets traités analysés). Dans le cas des objets étamés, les oxalates de cuivre se sont formés dans les zones lacunaires du revêtement d'étain.

Introduction

Depuis plusieurs années, il y a un intérêt grandissant pour la conservation « verte » et le développement de méthodes respectueuses de l'opérateur et de l'environnement. De tels exemples sont la biominéralisation produite par une souche du champignon *Beauveria bassiana* qui convertit les produits de corrosion réactifs en oxalates de cuivre plus stables. Cette approche écologique a été appliquée aussi bien sur des monuments exposés en extérieur que des objets archéologiques¹⁻³. Le travail présenté ici évalue les performances du traitement sur des pustules de corrosion et des surfaces étamées d'objets archéologiques en alliage cuivreux présentant une corrosion active. Les surfaces étamées étudiées ici arborent une structure métallique différente que celle des zones enrichies en étain présentes sur les monuments extérieurs en bronze testés lors d'études précédentes⁴. A cet effet, des produits de corrosion synthétiques, des coupons de bronze corrodés artificiellement et des objets archéologiques sont traités avec

1. Joseph, E. *et al.* Assessment of a biological approach for the protection of copper alloys artefacts. In ICOM-CC Metals working group interim meeting, Edinburgh, 16-20 September 2013, ed. E. Hyslop, V. Gonzalez, L. Troalen, L. Wilson, Edinburgh, 2013: International Council of Museums (2013) 203-208

2. Joseph, E. *et al.* Development of an analytical procedure for evaluation of the protective behaviour of innovative fungal patinas on archaeological and artistic metal artefacts. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 399: (2011) 2899-2907

3. Domon-Beuret, *et al.* Biopatines : des champignons au service des alliages cuivreux. *ARAUFU Cahier technique* 22 (2015) 45-48

4. Albin, M. *et al.* Evaluation of the performances of a biological treatment on tin-enriched bronze. *Environmental Science and Pollution Research*. 24(3) (2017) 2150-2159

Beauveria bassiana. Les modifications chimique et physique induites par le traitement ont été évaluées au moyen d'observations visuelles et de différentes méthodes analytiques. Finalement, un essai de reprise de corrosion en atmosphère artificielle a été effectué sur l'ensemble des objets du corpus d'étude afin de confirmer la stabilité sur le long terme du traitement biologique.

Matériel et méthodes

Du chlorure de cuivre (I) synthétique a été acquis auprès de Sigma-Aldrich (numéro CAS : 7758-89-6). Huit coupons en bronze (Cu90/Sn10) de format 60 x 60 x 2-3 mm coulés par la fonderie d'art Kunstgiesserei (Saint-Gall, CH) ont été corrodés artificiellement afin de reproduire des revêtements étamés et des systèmes de corrosion typiques d'un environnement archéologique terrestre selon des recettes issues de la littérature⁵. Un corpus de dix objets archéologiques de période romaine présentant des pustules de corrosion et/ou étamés ont été prêtés par deux institutions patrimoniales suisses.

Le chlorure de cuivre (I), les coupons corrodés et les objets ont été traités dans un gel aqueux contenant *Beauveria bassiana* selon la procédure mise en place à l'Université de Neuchâtel⁶. En étape finale, les objets ont été exposés à une atmosphère artificielle agressive selon la norme ISO 19701 [International Organization for Standardization, 2003] sans l'étape de pulvérisation de solution saline, pendant 30 jours. Seul l'objet 14/16478-13 a été exposé en lieu et place à 100% d'humidité relative pendant 15 jours.

Avant et après traitement, des échantillons ont été prélevés sur les coupons et certains des objets, puis enrobés dans la résine époxy Struers[®] Specifix 20 et préparés en coupe transversale par polissage avec des tissus Micro-mesh[™] avec une granulométrie allant jusqu'à 6000. La documentation est réalisée en microscopie optique (OM) Leica DX20 avec scanner 5MP, lumière UV, polarisateur, contraste de phase, lumière en transmission et réflexion, objectifs 10x, 20x, 50x et 100x, fond clair et fond noir, prisme interférentiel.

Des mesures en spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier en mode réflectance totale atténuée (ATR-FTIR) ont été effectuées au moyen d'un spectromètre IS5 Thermo Scientific (accessoire ATR en diamant iD5[™]). Pour la cartographie, un microspectromètre Nicolet iN10MX a été utilisé avec un objectif ATR et crystal ATR de germanium, avec un domaine d'acquisition de 4000 à 650cm⁻¹, et une résolution spectrale de 4 cm⁻¹, 16 scans sont réalisés par acquisition. Le traitement des données est effectué à l'aide du logiciel Omnic Picta.

Des mesures en spectroscopie Raman ont été effectuées avec un spectromètre Renishaw[®] InVia équipé d'un laser Nd:YAG 633nm. Les conditions utilisées sont : objectif 100x, domaine d'acquisition 4000-100 cm⁻¹, ouverture 1000 µm, fenêtre 100 µm, quatre accumulations de 10s.

L'imagerie en électrons secondaires a été obtenue avec un microscope électronique à balayage environnemental Zeiss[®] Evo MA 10 couplé à un analyseur des rayons X à énergie dispersive (MEB-EDS), avec un voltage d'accélération 10 à 25 keV, et une distance de travail de 10mm.

5. Leyssens, K. Evaluation of Corrosion Potential Measurements as a Means To Monitor the Storage and Stabilization Processes of Archaeological Copper-Based Artifacts. *Analytical Chemistry* 78(8) (2006) 2794-2801.

6. Albin, M., et al. Innovative biological approaches for metal conservation. *Materials and Corrosion* 67 (2016) 200-206

Désignation	Préparation	Temps de traitement [jours]	Coupes transversales
Produit de corrosion synthétique			
Poudre CuCl	-	7	-
Coupons			
Système A B2-B3-B4	<p>D'après Leyssens, 2006</p>	7	x
Système B B5-B6-B7	<p>D'après Leyssens, 2006</p>	7	x
Système C B8-B9	<p>Étamage électrolytique + corrosion électrochimique (6 heures, OCP/+1V bain NaCl 1M)</p>	7	x
Objets archéologiques			
07/14448-07	Nettoyage des sédiments	10 (zone sélectionné)	x
14/16481-03	Nettoyage des sédiments	10	-
14/16711-07	Nettoyage des sédiments	10 (zone sélectionné)	-
14/16478-11	Nettoyage des sédiments	10	-
14/16478-13	Nettoyage des sédiments	21	-
14/16475-09	Nettoyage des sédiments, dégagement des corrosions externes	7	-
14/16538-29	Nettoyage des sédiments, dégagement des corrosions externes	10	-
14/16475-08	Nettoyage des sédiments, dégagement des corrosions externes	10	-
V.011.1/1383.1	Nettoyage des sédiments, dégagement des corrosions externes	10 (moitié de l'objet)	x
V.011.1/2458.4	Nettoyage des sédiments	10 (moitié de l'objet)	-

Tableau 1. Modes de préparation, durée de traitement et coupes transversales effectués sur l'ensemble des échantillons traités

Résultats et discussion

La conversion du chlorure de cuivre (II) synthétique en un mélange d'hydroxychlorures de cuivre et d'oxalates de cuivre a été observée après sept jours par ATR-FTIR. Vraisemblablement, une hydrolyse s'est d'abord produite due à l'utilisation d'un traitement sous forme de gel aqueux et a été suivie par une réaction avec l'acide oxalique secrété par le champignon.

Sur tous les coupons, la formation d'oxalates de cuivre a été confirmée (figures 1 et 2). Un impact visuel fort suite au traitement a été observé par un changement de couleur de la surface des coupons. Même si la composition chimique des coupons est représentative de celle présente sur les objets archéologiques, l'apparence des objets n'a pu être reproduite par les recettes utilisées et ceci pourrait expliquer la forte variation chromatique observée.

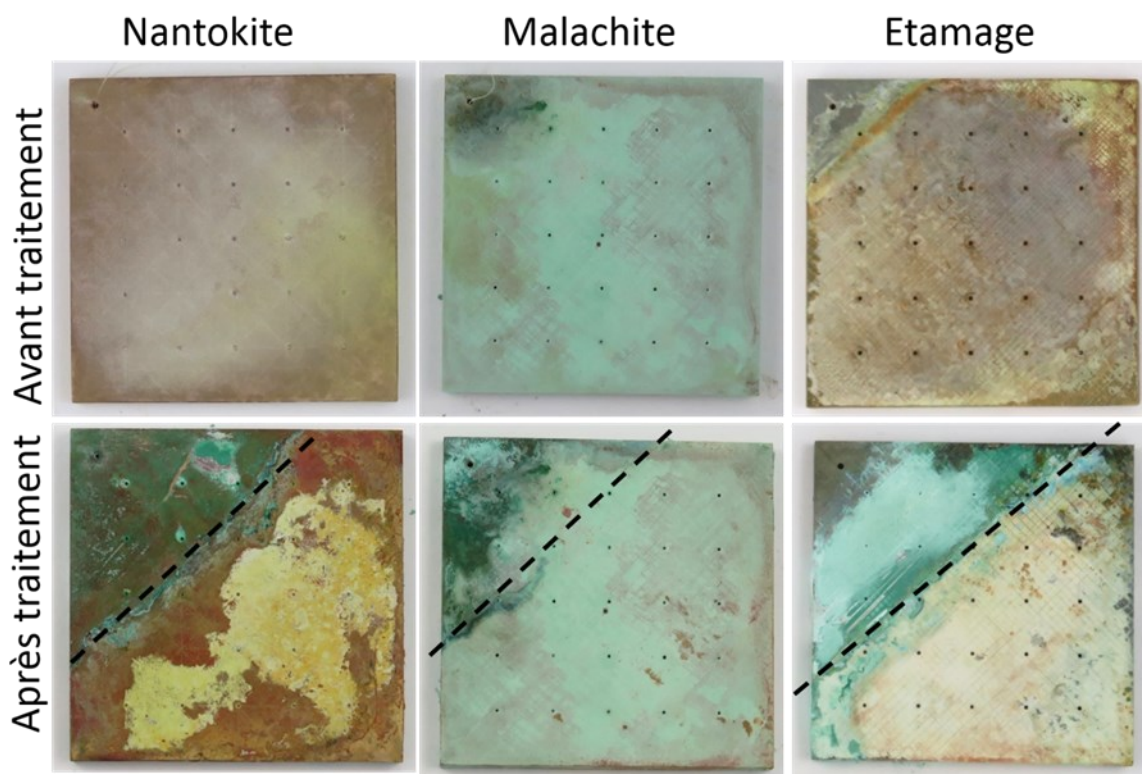


Figure 1. Coupons avec systèmes de corrosion A (nantokite), B (malachite) et C (étamage) avant et après traitement. La partie supérieure dans l'angle gauche de chaque coupon n'a pas été traitée pour comparaison

Après traitement, l'apparence des objets archéologiques a abordé une tonalité verte plus claire suggérant la présence d'oxalates de cuivre, comme confirmé par analyse ATR-FTIR. Sur les surfaces étamées, des agrégats en forme de rosette typique des oxalates de cuivre ont été observés mais aussi complétant les lacunes du film d'étain (figure 3). Néanmoins, dans ce cas, le film d'oxalates de cuivre a résulté en une surface plus mate et plus verte après traitement (figure 3).

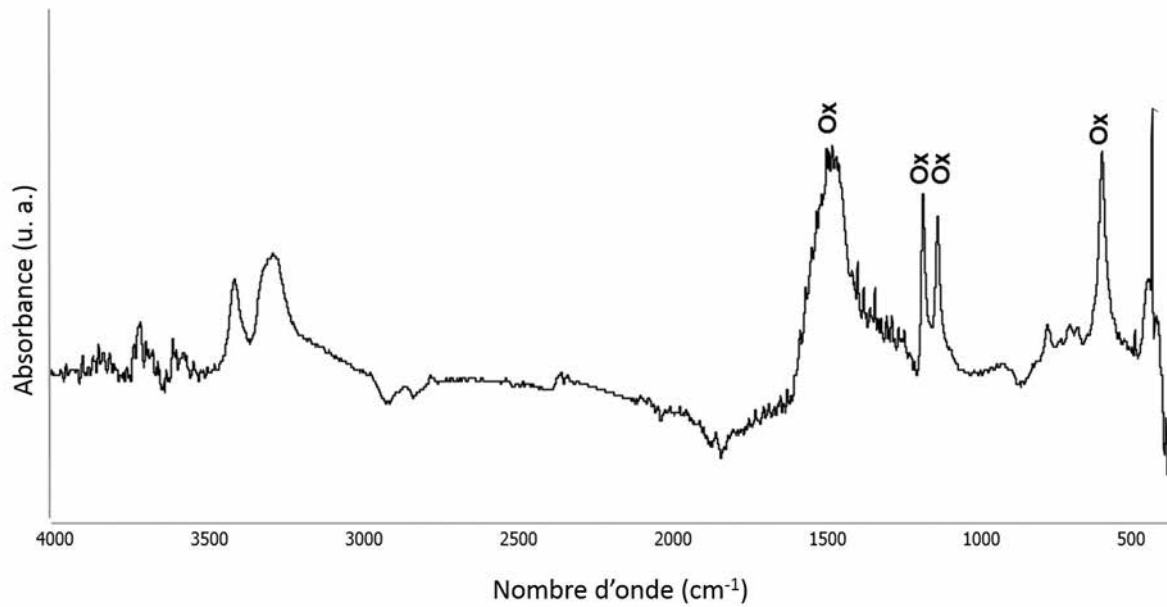


Figure 2. Spectre ATR-FTIR obtenu sur le coupon étamé B9 après traitement. Les bandes vibrationnelles caractéristiques des oxalates de cuivre sont indiquées avec l'abréviation Ox. Les autres pics sont attribués à des hydroxychlorures de cuivre

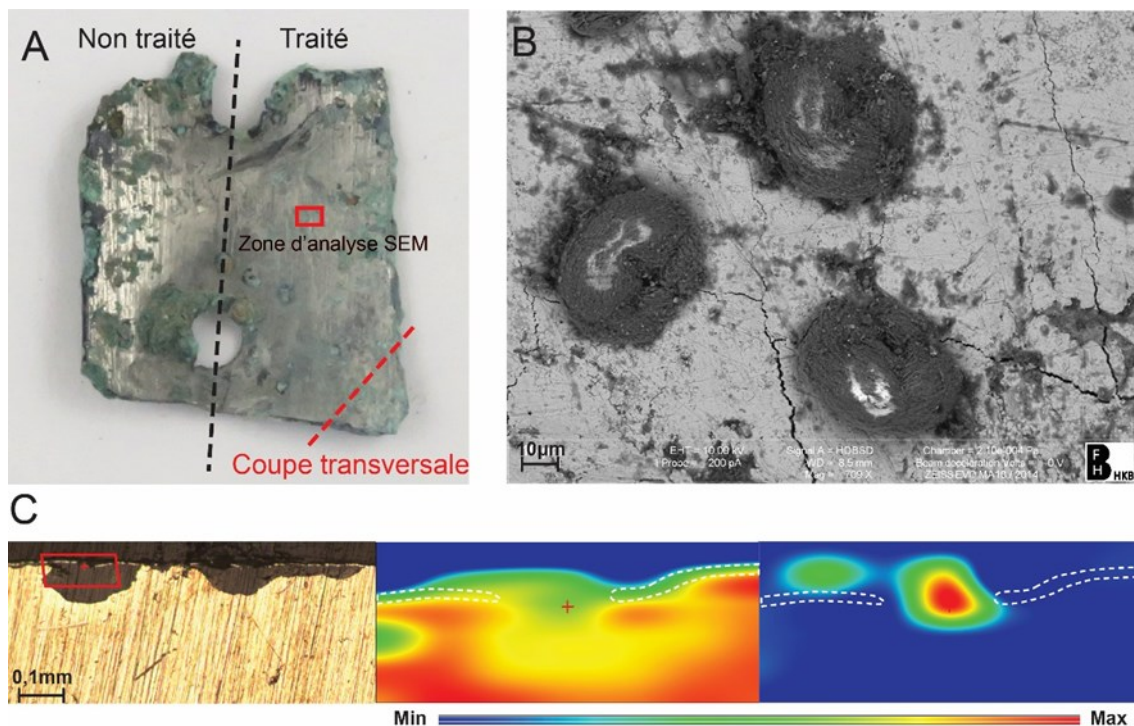


Figure 3. (A) objet étamé n° V.011.1/1383.1 (Service archéologique du canton d'Argovie) après traitement, (B) image en électrons secondaires des agrégats en forme de rosette, (C) de gauche à droite, micrographie indiquant avec un rectangle rouge la zone cartographiée en FTIR, cartographies de corrélation de la malachite et d'intensité du pic à 1365cm^{-1} (oxalates de cuivre)

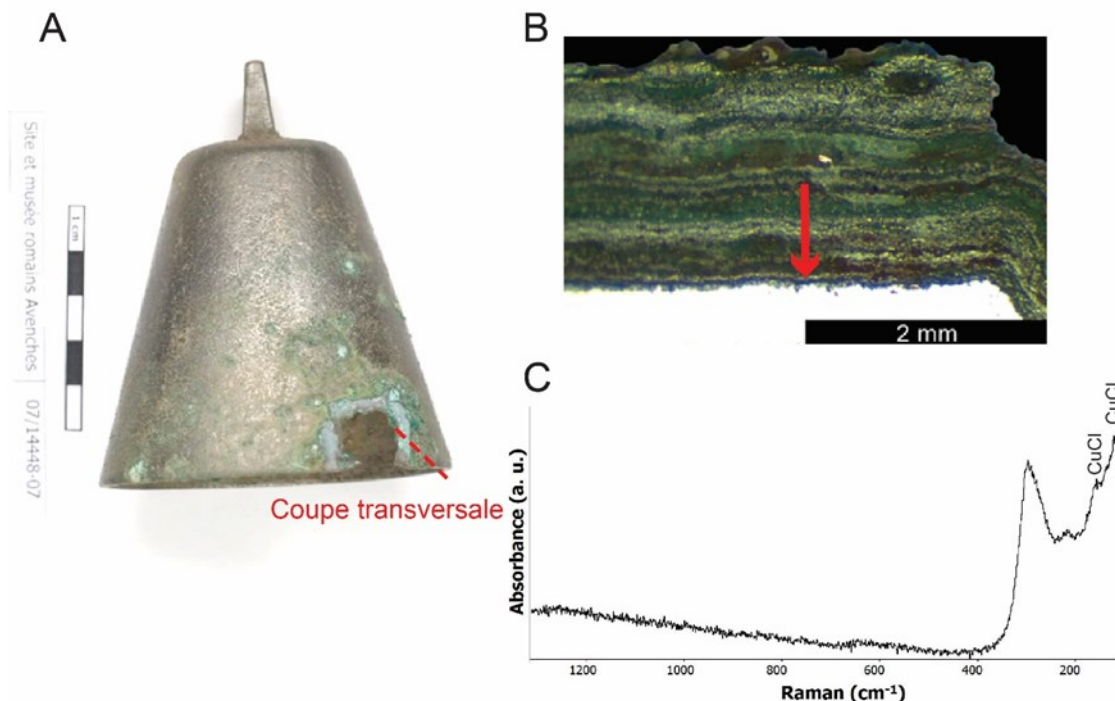


Figure 4. (A) objet 07-14448-07 (Sites et Musée romains d'Avenches) après traitement, (B) Micrographie indiquant par une flèche rouge les analyses Raman, (C) spectre Raman montrant des pics typiques correspondant à CuCl

Les analyses Raman effectuée sur l'objet n°07/14448-07 après traitement (figure 4) a montré que les chlorures de cuivre étaient toujours présents en profondeur dans les couches de corrosion de l'épaisseur de 2mm.

Néanmoins, aucun nouveau développement de corrosion n'a été constaté sur ce même objet après l'exposition au cycle d'atmosphère artificielle (tableau 2). Ceci suggère que le film d'oxalates de cuivre formé dans les parties supérieures des couches de corrosion a permis d'isoler les composés potentiellement réactifs et ainsi protéger l'objet d'une éventuelle corrosion future. L'inhibition de la corrosion a été effective sur neuf des dix objets (seul l'objet n°14/16481-03 présentait une reprise de corrosion). De plus, une campagne d'observation menée sur des objets archéologiques, provenant du Musée et Parc Archéologique Laténium (Hauterive-Neuchâtel) et traités 5 ans auparavant a été réalisée. Aucun des objets du corpus ne présentait de reprise de corrosion.

Conclusion

Au travers de cette étude, nous avons acquis une meilleure compréhension du processus de conversion des composés cuivreux réactifs pendant le traitement fongique. La protection est vraisemblablement obtenue par la conversion des composés-dits en une forme plus stable d'oxalates de cuivre. En formant un film isolant, ces biominéraux empêchent la réactivation des chlorures de cuivre éventuellement restants dans l'objet. Dans le cas des objets étamés, le traitement permet de compléter les zones lacunaires du film d'étain malgré une matification de surface qu'il conviendrait de discuter avant intervention. Finalement, la stabilisation des objets après traitement a été validée par des essais en atmosphère agressive.

Sites et musée romains d'Avenches

07/14448-07



14/16481-03















14/16711-07



14/16478-11



Avant traitement	Après traitement	Après vieillissement
Sites et musée romains d'Avenches		
<p>14/16478-13</p>  <p>1 cm</p>	 <p>1 cm</p>	 <p>1 cm</p>
<p>14/16475-09</p>  <p>1 cm</p>	 <p>1 cm</p>	 <p>1 cm</p>
<p>14/16538-29</p>  <p>1 cm</p>	 <p>1 cm</p>	 <p>1 cm</p>
<p>14/16475-08</p>  <p>1 cm</p>	 <p>1 cm</p>	 <p>1 cm</p>







Avant traitement	Après traitement	Après vieillissement
Service archéologique du canton d'Argovie		
V.011.1/1383.1		
		
V.011.1/2458.4		
		

Tableau 2. Objets archéologiques avant et après traitement, et après vieillissement accéléré

Remerciements

Les auteurs remercient le parc et musée archéologique Laténium (Hauterive-Neuchâtel), les Sites et musée romains d'Avenches et le service archéologique du canton d'Argovie pour leur support par le prêt des objets archéologiques traités dans cette étude. Un grand merci à Luc Robbiola, ingénieur de Recherche, discipline chimie des matériaux au Centre National de la Recherche Scientifique de France, pour ses conseils avisés et pertinents, en sa qualité de mentor du travail de diplôme de Naïma Gutknecht. Pour les analyses SEM-EDS et Raman, ainsi que l'usage de la chambre climatique, un grand merci à la Haute Ecole spécialisée de Berne et en particulier à Nadim Scherrer.

Intervenants

Nom, prénom	Fonction	email
Alembik Camille	Restauratrice indépendante	camille.alembik@gmail.com
Azema Aurélia	Scientifique, LRMH	aurelia.azema@culture.gouv.fr
Balboa Alejandra	Restauratrice indépendant	conservation_lab57@yahoo.fr
Chesnot François	Architecte, Metamobil	francois@metalobil.fr
Da Silva Diana	Restauratrice indépendante	atelier.dianadasilva@gmail.com
Druenes Dalila	Restauratrice indépendante	dalila.druenes@gmail.com
Fardel Pierre Alain	Scientifique, DEARTisSIGN	pierrealain.fardel@deartissign.fr
Florescu Michaela	Restauratrice indépendante	michaela.florescu@gmail.com
Gutknecht Naima	Étudiante, École he ARC	naima.gutknecht@he-arc.ch
Hatahet Ryma	Restauratrice indépendante	ryma.hatahet@gmail.com
Joseph Edith	Scientifique, Unine	edith.joseph@unine.ch
Imbert Nicolas	Restaurateur indépendant	nimbert.rest@gmail.com
Koch Nicolas	Étudiant, Université de Lorraine	nicolas.koch@outlook.fr
Lambert Marie Pierre	Restauratrice, LAM	Marie-Pierre.Lambert@grand-nancy.org
Laroche Florent	Scientifique, École Centrale	florent.laroche@ec-nantes.fr
Leroux Lise	Scientifique, LRMH	lise.leroux@culture.gouv.fr
Paez Barbat Milena	CAPC, musée d'art contemporain	m.paezbarbat@mairie-bordeaux.fr
Pelé Meziani Charlène	Scientifique, Arc'Antique	Charlene.Pele-Meziani@loire-atlantique.fr
Remazeilles Céline	Scientifique, Lasie	celine.remazeilles@univ-lr.fr
Rossetti Loretta	Restauratrice, Arc'Antique	Loretta.Rossetti@loire-atlantique.fr
Rouquié Emilie	Restauratrice indépendante	emilie.rouquie@hotmail.fr
Simonnin Michaele	Conservateur, Musée des Marais Salants	michaele.simonnin@cap-atlantique.fr
Steib Olivier	Restaurateur indépendant	olivier.steib@gmail.com
Troussicot Eric	Maitre d'œuvre, BOLD Architecture	eric@bold.li

Participants

Nom, prénom	Fonction	email
Baquet, Marine	Étudiante, Université Bordeaux Montaigne	marine.baquet@etu.u-bordeaux-montaigne.fr
Beauvoit, Emmie	Étudiante, Université Bordeaux Montaigne	emmie.beauvoit@u-bordeaux-montaigne.fr
Berger, Olivier	Restaurateur, Art Métal Conservation	bergoliv@hotmail.com
Biron, Carole	Étudiante, Université Bordeaux Montaigne	carole.biron@u-bordeaux-montaigne.fr
Blaszczyk, Julie	Étudiante, Université Bordeaux Montaigne	julie.bla@hotmail.fr
Chalvidal, Clémence	Restauratrice indépendante	clemence.chalvidal@gmail.com
Crouzet, Marine	Restauratrice, A-Corros	mcrouzet@a-corros.fr
De Palaminy Louise	Étudiante, Université Bordeaux Montaigne	louise.depalaminy@gmail.com
De Vivies Philippe	Restaurateur, A-Corros	devivies@a-corros.fr
Didelot Catherine	Restauratrice, Musée des Arts décoratifs	Catherine.didelot@madparis.fr
Douet, Océane	Étudiante, Université Bordeaux Montaigne	oc.douet@gmail.com
Dussère, Florence	Restauratrice, Val d'Oise	florence.dussere@valdoise.fr
Echinard, Jane	Directrice Arc'Antique	jane.echinard@loire-atlantique.fr
Geffroy, Anne Marie	Restauratrice, Nantes	amgeffroy@yahoo.fr
Huynh, Clara	Restauratrice, Paris	ch.conservation@gmail.com
Huyseune, Hélène	Restauratrice	helenehuyseune@yahoo.fr
Le Galloudec, Nathalie	Assistante de conservation	nathalie.legalloudec@latestedebuch.fr
Loeper-Attia, Marie Anne	Restauratrice indépendante	loeperattia@orange.fr
Loustalot, Fabien	Étudiant, Université Bordeaux Montaigne	fabien.loustalot@etu.u-bordeaux-montaigne.fr
Monediere, Anne	Étudiante, Université Bordeaux Montaigne	anne.monediere@etu.u-bordeaux-montaigne.fr
Mosnier, Marie	Étudiante, Université Bordeaux Montaigne	mariem1602@hotmail.fr
Pernot, Michel	Scientifique, Université Bordeaux Montaigne	Michel.Pernot@u-bordeaux-montaigne.fr
Rerolle, Charlotte	Restauratrice indépendante	charlotte_rerolle@yahoo.fr
Tourreau, Claire	Étudiante, Université Bordeaux Montaigne	claire.tourreau@hotmail.fr
Viseux, Anne-Cécile	Restauratrice indépendante	atelier.anne.cecile@gmail.com

JOURNEE ICOM METAL FRANCE 2019

Elodie GUILMINOT

GPLA - Arc'Antique
26 rue de la Haute Forêt
44300 NANTES

Téléphone : 02 51 81 06 16

Messagerie : Elodie.GUILMINOT@Loire-atlantique.fr

Anne CADENET et Milena PAEZ BARBAT

CAPC
Musée d'art contemporain de Bordeaux
7, rue Ferrère
33000 BORDEAUX

Téléphone : 05 56 00 81 76

Messagerie : a.cadenet@mairie-bordeaux.fr

Anne GENACHTE - LE BAIL

INP - Département des Restaurateurs
124 Rue Henri Barbusse
93300 AUBERVILLIERS

Téléphone : 01 49 46 57 24

Messagerie : anne.genachte-lebail@inp.fr

Luc ROBBIOLA

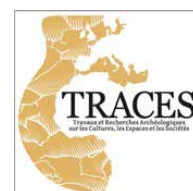
Laboratoire TRACES
Université Toulouse Jean Jaurès
5, allées Antonio MACHADO
31058 TOULOUSE Cedex 9

Téléphone : 05 61 50 24 35

Messagerie : luc.robbiola@univ-tlse2.fr

Organisation

C musée
A
P d'art contemporain
C de Bordeaux



inp Institut national
du patrimoine

Grand Loire
patrimoine Atlantique