

DISCOURS D'OUVERTURE

Bonjour,

Nous débutons maintenant la quatrième édition, mais pas la dernière !!!, de notre cher projet JERI (Journée Etude, Recherche et Innovation en conservation-restauration des biens culturels).

Il est issu de la collaboration entre différentes associations - l'ACRMP (Association des Conservateurs-Restaurateurs de Midi-Pyrénées), le 2CRA (Collectif des Conservateurs-Restaurateurs d'Aquitaine) et la FFCR (Fédération Française des professionnels de la Conservation-Restauration)-, de l'échange entre deux régions -Midi-Pyrénées et Aquitaine- et cette année, de la coopération entre deux pays -l'Espagne, à travers l'Ecole Supérieure de Conservation-Restauration des Biens Culturels de Madrid (ESCRBC) et la France à travers l'Institut National du Patrimoine de Paris (INP), l'Ecole Supérieure d'Art d'Avignon(ESAA), l'Ecole Supérieure des Beaux-arts de Tours (ESBAT), et le Master CRBC de l'Université Paris I Panthéon-Sorbonne.

Nous sommes convaincus que cette rencontre annuelle témoigne de l'ouverture d'esprit à laquelle nous aspirons, où les barrières des formations, des spécialités, des générations, des expériences, des langues ne trouvent pas leur place ; mais où la transmission des savoirs et la mise en valeur de notre chère profession sont les seuls objectifs qui nous motivent. C'est pour cette raison que cette année, nous avons privilégié des présentations en binômes où les idées se partagent... mais aussi parfois se confrontent.

Nous remercions vivement les institutions qui nous ont aidé, accompagné et encouragé à élaborer cette journée : le Musée des Beaux-arts de Bordeaux avec ses différents conservateurs-directeurs M Guillaume Ambroise, M Marc Favreau et M. Jose de los Llanos, la Mairie de Bordeaux avec son maire M Alain Jupé et son adjoint chargé de la Culture et de la protection du Patrimoine M Dominique Ducassou, et pour finir la Direction Régionale des Affaires Culturelles d'Aquitaine (DRAC Aquitaine) avec son Drac M Arnaud Littardi et Mme Florence Saragosa, Conservateur et Conseiller pour les musées avec laquelle nous avons déjà un ancien et riche parcours de collaboration.

La manifestation n'aurait pas été possible non plus sans le soutien financier de nos sponsors : Atlantis France, Arc'Nucléart, Bardinet, CIRAM, Eclat de verre, Gras Savoye, KLUGG, LAMOA, Le Géant des Beaux-Arts, Muséo Direct, Re.S.Artes.

Notre pensée va également à tous les bénévoles qui nous ont apporté leur aide inconditionnelle : les membres du comité de lecture qui se sont chargés de lire un ou plusieurs articles, qui ont préparé des questions dans le but d'animer les débats Alejandra, Coralie, Marion, Marie Hélène, Alexandre, François, César, Anaïs, Géraldine, Rosalie, Nathalie, Grazia, Nicolas et Anne-Elisabeth, les traducteurs Mme Alicia de Lera et M Angel Gea Garcia qui nous permettront de décortiquer la merveilleuse langue de Cervantes, les experts qui nous apporteront des éléments complémentaires aux conférences et qui répondront aux questions les plus pointues dans les thèmes abordés, Mme Nathalie Mémoire, Mme Nathalie Balcar, M Thierry Aubry et Mme Anne Cadenet, les conférenciers qui nous ont livré leurs idées, Emmanuelle, Aline, Alicia, Carmen et Olga, Alizée, Delphine et le professeur Daniel Hartmann, Vanessa et Marie et enfin notre chère maîtresse de cérémonie Mme Brigitte Derion qui nous conduira pendant ce colloque.

JERI 2013, merveilleuse et étonnante aventure, qui a été possible grâce à l'engagement, à la force et à l'énergie des membres de son organisation : Isabelle, Mélina, Cécile JC et Cécile P, Nathalie, Camille et Adèle.

JERI 2013, un événement à partager avec vous, cher public. Merci pour la confiance que vous nous portez et d'être là, chaque année, fidèles.

Un ultime clin d'œil va à la Délégation régionale Paca qui se chargera de notre Jeri 2014. Nous sommes fières de vous transmettre le projet et vous encourageons dans sa réussite. Notre prochain rendez-vous sera Marseille.

Merci

Rebeca ZEA
Délégée régionale Aquitaine de la FFCR-2CRA

PROGRAMME

08H00 - 08h45 Accueil des participants.

08H45 - 09H00 Installation dans la salle.

09H00 - 09H30 Présentation de la journée et ouverture de la séance.

Mme Rebeca ZEA, Déléguée régionale de la FFCR, Représentante du Collectif des Conservateurs-Restaurateurs d'Aquitaine (FFCR-2CRA) et **Mme Isabelle DUCASSOU**, Déléguée suppléante de la FFCR, secrétaire du Collectif des Conservateurs-Restaurateurs d'Aquitaine (FFCR-2CRA).

M. Jose DE LOS LLANOS, Conservateur et directeur du musée des Beaux-arts de Bordeaux.

M. Dominique DUCASSOU, Adjoint au maire, chargé de la culture et de la protection du patrimoine.

M. Arnaud LITTARDI, Directeur régional des affaires culturelles d'Aquitaine.

Maitre de cérémonie : **Mme Brigitte Derion**, Conservateur en Chef honoraire.

09H30 - 11H00

Binôme « ethnographie »

Modérateur : **Mme Nathalie Mémoire**, Conservateur en chef et Directrice du Muséum d'Histoire Naturelle de Bordeaux.

De l'outil scientifique à l'objet sensible. Enjeux et perspectives de conservation/restauration d'une collection anthropologique de cheveux humains du Musée des Confluences de Lyon. Emmanuelle Barbe, Conservateur-restaurateur d'objets ethnographiques – restes humaines.

SYNOPSIS : Les collections de cheveux humains qui font l'objet de cette présentation proviennent d'explorations extra-européennes du XIX^{ème} siècle et sont conservées au Musée de l'Homme de Paris et au Musée des Confluences de Lyon. Au cœur de l'histoire du colonialisme, marquée par un élan d 'enrichissement culturel et de conception de l'«autre», ces collectes sont aujourd'hui tombées en désuétude. «Outils» et éléments symboliques de la classification des «races humaines», elles renferment l'histoire d'individus et groupes d'individus, d'environnements divergents, s'inscrivant dans un système social spatio-temporel.

Bien que l'ensemble ait un intérêt commun quant aux analyses scientifiques et anthropologiques, le contexte historique est différent pour chaque échantillon de cheveux. Ces collections ont aujourd'hui non seulement perdu leur fonction et leur intégrité matérielle, mais aussi l'identité culturelle du sujet analysé. Leur conservation ne pourrait constituer un enjeu en soi si aucune considération de la valeur identitaire des peuples dont ils sont issus n'était envisagée. Le dilemme entre une éventuelle demande de restitution ou la conservation de ces biens permet d'appréhender les différents enjeux.

Dans une recherche de traitement respectueuse d'une collection «témoin d'une idéologie», comment justifier la valorisation de cet échantillonnage de cheveux humains en tant que bien culturel fonctionnel à travers la conservation/restauration de sa constitution matérielle?

Une collaboration a été mise en place avec le Pr.Cathy Vieillescazes (Ingénierie de la restauration des patrimoines naturel et culturel, UMR IMBE CNRS 7263, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse) et Mme Pascale Richardin, (Centre de recherche et de restauration des Musées de France) dans le cadre des analyses scientifiques de la collection.

Les poissons-fossiles de Monte Bolca : étude et restauration.

Aline Raux, Conservateur-restaurateur de sculpture.

SYNOPSIS : Le gisement de Monte Bolca, daté de l'Eocène inférieur (soit environ -50 MA) est parmi les plus importants de cette période car il a fourni une grande quantité de fossiles dans un très bon état de conservation, mais également en raison du très grand nombre d'espèces qui y sont représentées. Ce site mondialement connu a été très étudié par les paléontologues et les géologues et a donné lieu à de nombreuses publications. En plus de leur importance scientifique, ces poissons ont suscité un vif intérêt dès le XVI^{ème} siècle. Très convoités par la noblesse italienne, ils sont venus alimenter de nombreuses collections privées ce qui leur confère une grande valeur historique.

Mais il apparaît tout aussi intéressant de porter un regard plus technique sur ces fossiles qui appartiennent à un type de patrimoine différent des pièces sur lesquelles les restaurateurs sont généralement amenés à intervenir. L'étude des matériaux des ajouts, pour la plupart apportés juste après leur extraction au XVIII^{ème} siècle, a notamment donné lieu à une connaissance plus complète des spécimens et de leur préparation, ce qui est intéressant du point de vue historique et qui s'est avéré très utile pour leur conservation-restauration.

Les fossiles présentés ici proviennent du Muséum d'Histoire Naturelle d'Angers

11H00 – 12H30

Binôme « les gels »

Modérateur : **Mme Nathalie Balcar**. Ingénieur d'études, XX^{ème} – Art contemporain, Département de restauration du C2RMF à Paris.

Traducteur : **Alicia de Lera** (espagnol – français), Docteur en conservation de Biens Culturels et **Angel Gea** (français - espagnol), Chef du Département Promotion et développement de l'Ecole Supérieure de Conservation et Restauration des Biens Culturels de Madrid.

Nettoyage de matériaux poreux inorganiques par gels polysaccharides: possibilités et limites.

Alicia de Lera, Docteur en conservation de Biens Culturels.

SYNOPSIS : Les gels, créés et utilisés par l'industrie pharmaceutique et alimentaire, ont été adaptés à la restauration d'œuvres d'art à partir des années 80. Les plus utilisés sont les dérivés cellulotiques tel le Carbopol et depuis le début du XXI^{ème} siècle, les gels rigides d'Agar-agar ou de Gellan gum. Ceux-ci sont idéaux pour certains types de nettoyages, en particulier dans le domaine du textile et des arts graphiques et pour réduire la toxicité de certains traitements car les gels sont capables de retenir et absorber solvants et tensioactifs. De plus, la structure physique plus ou moins rigide ou visqueuse des différents gels leur confère la capacité de laisser diffuser dans les œuvres à traiter des quantités d'eau contrôlées et ceci de façon très localisée. Les gels sont aussi utilisés pour la consolidation et les doublages des papiers affaiblis.

Les possibilités de nettoyer des matériaux poreux inorganiques avec un gel d'Agar-agar ont récemment fait l'objet de recherches en Italie, moyennant quelques astuces de mises en œuvre. Mais, les gels ne sont pas volatils et une fois déshydratés, ils constituent un matériau solide. Ils peuvent par conséquent laisser des résidus avec en corollaire l'apparition d'un risque de développement de microorganismes susceptibles de dégrader l'œuvre restaurée. Ce risque est surtout potentiellement préoccupant pour les gels polysaccharides et l'Agar-agar en particulier. Jusqu'à présent aucune étude n'a été menée sur cette thématique. C'est la raison pour laquelle nous avons souhaité mener une recherche sur la contamination microbiologique de matériaux poreux inorganiques nettoyés par gel d'Agar-agar.

Après avoir optimisé les conditions d'application du gel, nous avons étudié l'efficacité du gel d'Agar-agar pour le nettoyage d'éprouvettes de plâtre, de pierre microporeuse et de brique macroporeuse, artificiellement traités pour mimer un encrassement typique d'un environnement intérieur. Les effets du gel d'Agar-agar ont été ensuite comparés avec ceux de systèmes de nettoyage plus courants en restauration de la pierre à savoir le microsablage et le laser. Dans un deuxième temps, nous avons évalué les risques de contamination microbiologique des surfaces nettoyées à l'Agar-agar, par comparaison avec les gels de Klucel, de HEC, de Carbogel, de gomme Xanthane et de Gellan gum.

Nuevos emulsionantes poliacrílicos en la formulación de sistemas acuosos de limpieza: Pemulen™ TR-2.

Carmen Ahedo Pino et Olga Cantos Martinez. Conservateur-restaurateur de peinture de chevalet et master en conservation- restauration et exposition des biens culturels.

SYNOPSIS : Les émulsions polymériques Pemulen™ sont depuis peu ajoutées à la gamme des traitements de nettoyage des peintures. Ce sont des copolymères polyacryliques amphipatiques qui offrent des propriétés améliorées par rapport à d'autres matériaux analogues. Leur différence résulte dans le fait qu'ils ont été modifiés hydrophobiquement et transformés en émulsions primaires avec des propriétés tensioactives, contrairement au Carbopol® généralement utilisé, en premier lieu, comme épaississant

Dans la ligne de produits Pemulen™, le TR-2 présente la plus grande capacité pour émulsionner les systèmes huile/eau à faible concentration et à bas rapport de neutralisation, sans addition de co-tensioactifs. Cette question pourrait permettre de réduire la quantité de résidus en surface dérivés des systèmes de nettoyages gélifiés (ou par gels).

Les expériences développées dans les Départements Peinture et Sculpture de l'IPCE (Institut du Patrimoine Culturel d'Espagne) ont permis de contraster l'efficacité de ces matériaux alternatifs dans la réduction sélective de matériaux filmogènes sur les surfaces peintes.

Conçus pour l'industrie cosmétique et pharmaceutique, ils nécessitent une révision théorique et pratique pour une utilisation dans le cadre de la conservation - restauration de biens culturels.

12H30 – 13H30

Pause déjeuner.

13H30 – 15H00

Binôme « spécialités peu représentées »

Modérateurs : **M. Thierry Aubry**, Responsable de l'atelier de restauration de la Bibliothèque Nationale Universitaire de Strasbourg et **Mme Nathalie Balcar**, Ingénieur d'études, XXème – Art contemporain, Département de restauration du C2RMF à Paris.

A la confluence des traditions et savoir-faire. Conservation-restauration d'un manuscrit arabico-malgache sorabe. Etude du potentiel des fibres de verres comme matériau de restauration.

Alizée Lacourtiade, Conservateur-restaurateur d'arts graphiques et de livres.

SYNOPSIS : La conférence proposée aujourd'hui porte sur l'étude et la restauration d'un manuscrit «sorabe» rédigé en arabico-malgache provenant du sud-est de Madagascar et conservé dans les collections du musée du quai Branly. Ce livre, dont la typologie est relativement minimaliste a posé des problèmes de restauration particuliers et nous a forcé à développer de nouvelles techniques de restauration.

Les deux altérations principales (la lacune d'un tiers du matériau de couverture au niveau du dos du volume ainsi que les deux plats complètement détachés) ne pouvant être traitées selon les méthodes traditionnellement employées en restauration de livre en raison de la typologie et des matériaux du manuscrit, nous nous sommes attachés à déterminer le potentiel de la fibre de verre sous deux axes :

- le possible emploi de tissus fibre de verre en stratifié (plusieurs couches adhérentes avec un adhésif acrylique) pour le comblement du dos en alternative au papier japonais généralement employé, afin de maîtriser épaisseur et flexibilité et éviter les déformations inhérentes au papier japonais lors de variations des conditions d'hygrométrie.

- le possible emploi de fibres de verres coupées pour le rattachement des plats en alternative au papier japonais : les fibres de verre présentent une grande résistance mécanique, une stabilité ainsi qu'une transparence appréciable pour la réparation du mors et le rattachement des plats.

L'étude, basée sur des tests mécaniques s'est attachée à déterminer la résistance à la traction et le comportement de ce nouveau matériau dans des conditions d'utilisation «réelles» du manuscrit, c'est-à-dire en reproduisant sur des éprouvettes un mouvement d'ouverture et de fermeture répété du volume. La résistance à l'ouverture et la résistance à la traction ont ainsi été mesurées avant et après 600 ouvertures simulées du volume, qui correspond à un nombre de consultation moyen du livre sur une période de 100 ans.

Au-delà du cas particulier du manuscrit sorabe, les fibres de verre de par leur coût réduit, leur stabilité dimensionnelle, leur bon vieillissement, leurs bonnes propriétés mécaniques et leur transparence ouvrent un champ particulièrement intéressant et à développer pour la restauration des reliures en parchemin, très fréquente dans le monde des archives et des bibliothèques.

Mise au point d'une méthodologie d'analyses permettant d'identifier les colles animales en restauration.

Delphine Elie-Lefevre, Conservateur-restaurateur de mobilier et objet bois et Daniel J. Hartmann, docteur et professeur à l'Université de C. Bernard-Lyon, UMR-CNRS 5510 et Novotec.

SYNOPSIS : En France, dans les laboratoires de recherche du patrimoine, les colles sont actuellement analysées par chromatographie en phase gazeuse et en phase liquide. Le chromatogramme des différents acides aminés renseigne sur les pourcentages d'acides aminés présents. Cette technique permet de différencier avec certitude des protéines comme le collagène, la caséine, l'albumine.

La chromatographie en phase gazeuse (GC), couplée à la spectrométrie de masse (MS) après pyrolyse est l'un des systèmes analytiques les plus performants utilisés pour la séparation et l'identification des matières organiques. Cette technique donne les quantités des différents acides aminés ainsi que leur rapport, mais ne permet pas de définir l'origine animale des collagènes (exemple : collagène de bœuf et collagène de poisson non différenciés).

DE L'OUTIL SCIENTIFIQUE A L'OBJET SENSIBLE

ENJEUX ET PERSPECTIVES DE CONSERVATION / RESTAURATION D'UNE COLLECTION ANTHROPOLOGIQUE DE CHEVEUX HUMAINS DU MUSEE DES CONFLUENCES DE LYON

Emmanuelle BARBE

Le corps humains, dans sa matérialité physique est voué à disparaître. Pourtant, certains de ces éléments organiques, en particulier les os, les dents et les cheveux, sont des matières susceptibles naturellement d'être mieux préservées au fil du temps, contrairement à d'autres matières organiques. Utilisés autrefois comme support scientifique, aujourd'hui rassemblés, pour la plupart dans les musées nationaux, ces éléments ne présentent à l'heure actuelle aucune fonctionnalité dynamique dans les institutions. Ils semblent avoir été mis en latence dans les réserves, figés dans les expositions permanentes et par conséquent, sont tombés en désuétude. Il serait donc intéressant de s'enquérir sur leur réactivation et la place qu'ils peuvent investir dans notre société contemporaine. Ce travail de conservation restauration s'est interrogé donc sur le statut et la fonction de cette catégorie « d'objet sensible » dans son contexte spatial et temporel d'origine, actuel et en devenir. Ainsi, elle a permis de mieux appréhender et analyser la portée de sa signification dans son contexte d'évolution.

La valeur scientifique, de ces objets sensibles évoquée ci-dessus, est tout aussi importante. Elle est en corrélation avec sa valeur historique maintenue dans une temporalité spatiale, fixe et déterminée. Elle révèle des informations de compréhension quand à la fonction usuelle et symbolique auxquelles ces objets ont été soumis. Ceci comprend les études et les analyses pratiques effectuées et limitées par les techniques existantes dans une période définie. La valeur scientifique permet de retracer le témoignage d'usages et de pratiques culturelles liés à une époque, dans un contexte d'étude et de recherche scientifique. Pour le conservateur restaurateur, l'analyse de cette valeur scientifique l'incite également à ne pas annihiler le parcours historique de « l'objet »

Les contraintes qui émanent de la collection des restes humains, autant par sa matérialité que ses valeurs symboliques, donnent à l'étude qui a été menée sur la collection de cheveux humains du Musée des confluences de Lyon, des problématiques de conservation/restauration liées à l'éthique et à la déontologie à mettre en place.

1. Appréhender une collection instable ?

La conservation-restauration d'objets ethnographiques d'origines extra-européennes s'inscrit dans une réflexion basée sur le patrimoine des peuples dont ils sont issus et le rapport d'échanges que nous pouvons entretenir avec ces derniers. Les questionnements portant sur ces objets conduisent inévitablement à tenter de déterminer l'objectif et les enjeux d'une conservation ou d'une restauration, soucieuse de l'intérêt historique et des valeurs multiples qu'ils peuvent véhiculer dans leur singularité. L'attention est d'autant plus accentuée lorsqu'il s'agit d'un « objet sensible », à la fois considéré comme ethnographique et scientifique : tel est particulièrement le cas des restes humains et de la collection de cheveux qui a été étudiée ici. En effet, ils oscillent entre - objets d'étude (favorisant une vision objective du développement du savoir pour le domaine scientifique) et - sujets (contraignant les institutions détentrices à des limites quant à leur conservation et leur valorisation, de par leurs dimensions culturelles et leurs valeurs symboliques). De surcroît, nous nous trouvons également face à un

contexte culturel bien particulier qui implique une réflexion sur la façon de conserver ces biens si la communauté d'origine souhaite leur restitution. Il s'agit d'un problème face auquel il est très difficile de prendre une position radicale : chaque type de restes humains a fait l'objet d'acquisition, de conservation, et de mise en valeur qui varient énormément d'une situation à une autre. Force est de constater que depuis quelques années, notamment avec le rapatriement des têtes maories des musées nationaux en janvier 2012 en Nouvelle Zélande, les peuples autochtones ont la possibilité de revendiquer les restes de leurs ancêtres, induisant une perte pour la science et l'impossibilité d'accéder à de nouvelles connaissances.

Dans quelle mesure peut-on conserver ces restes humains en conciliant- l'approche de son contexte historique (collection scientifique et ethnologique), - sa décontextualisation (statut ambigu relatif aux restes humains et collection tombée en désuétude) et - le contexte éventuel qui lui serait attribué, aujourd'hui ? Lorsque nous sommes face à un objet oublié ou méconnu, qualifié d'objet sensible, que doit-on préserver et avec quelles intentions?

Chaque échantillon dans toute sa composition matérielle possède une valeur unique et authentique du sujet et des éléments informatifs ou expérimentaux qui gravitent autour de lui. Entre devoir de mémoire et devoir scientifique, la conservation/restauration de cette collection, au delà des débats éthiques, nous a obligé à faire preuve de déférence afin de ne pas dénaturer les informations existantes. Les traités d'analyses scientifiques et anthropologiques, la photographie, la recherche identitaire, l'examen matériel de la collection ont été autant d'éléments pouvant servir à caractériser et définir les moyens à mettre en place pour sa valorisation et sa conservation. Le fonctionnement de la collection est inexistant, car déconnecté de toute activité scientifique. Actuellement les responsables du musée n'envisagent pas une mise en valeur particulière de la collection. Elle a aujourd'hui réintégré les réserves du musée. Il m'a paru donc important de rendre possible son étude. La collection et les documents publiés de l'époque constituent les traces de son usage scientifique et culturel. Il a été donc possible de restituer l'intégralité du sens de la collection.

Pour aborder ce travail, une problématique triangulaire s'est imposée:

- Comment garder un regard critique et distancié quant à cette collection?
- Quel serait le traitement le plus respectueux de cet échantillonnage « témoin d'une idéologie et d'un système social temporel »?
- Comment justifier sa mise en valeur en tant que bien culturel, fonctionnel, dans le cadre muséal, à travers la conservation/restauration de sa constitution matérielle

2. Présentation de la collection



Réalisation : Explorateurs (missionnaires, collecteurs) européens du domaine scientifique et anthropologique

Titre : Homo sapiens

Sujet : Ensemble de collections anthropologiques et scientifiques de cheveux humains

Domaine : Anthropologie

Collection : 14 différents collecteurs européens identifiés

Nombre de pièces : 72 pièces : 62 insérées dans des bocaux et tubes, 3 mèches de cheveux à l'air libre, 7 cartels musée

Nature des matériaux : Cheveux, bocaux anatomiques, tubes à essai cartels-musée

Datation : XIXème siècle



Provenance : Régions diverses du globe terrestre, principalement : Amérique, Afrique, Asie, Océanie, Moyen Orient et îles Canaries

Propriétaire : Propriété de la ville de Lyon

Numéros inventaire : De 30002219 à 30002279, de 30002288 à 30002289 et nouveaux numéros de 30002290 à 30002293

Dimensions : variables

Les bocaux anatomiques : 190X50 mm et 240X70 mm

Les tubes à essai : tailles variables entre 60; 70 ; 80 X 20 ; 30 ; 40 mm

Poids : les tubes à essai : entre 9.8g et 39.0g, les bocaux anatomiques : entre 92.7g et 700.5 g

Ces collections de cheveux font partie de l'histoire du colonialisme ainsi que des traités scientifiques et anthropologiques sur la classification de la *race humaine*, élaborés lors des retours des voyages extra-européens du XIXème siècle. L'objectif sous-jacent de ces collectes d'échantillons était de justifier une différence culturelle par une différence physique. Ces recherches ont donc servi de support à une théorie de hiérarchisation des races à partir de la typologie des cheveux. Elles ont été collectées en masse par des acteurs de différentes disciplines (médecin, archéologue, anthropologue, phrénologiste, astronome, météorologiste,



botaniste, zoologiste etc.) Une partie de ces collectes est conservée depuis 1879 dans les réserves du Musée des Confluences de Lyon, ainsi que dans d'autres institutions notamment le Smithsonian Institution à Washington. Le Musée de l'Homme de Paris détient quant à lui le reste des échantillons. Ces collections sont composées de chevelures, de scalps, d'échantillons de cheveux, d'ongles et de poils de barbe ou de pubis. Elles ont été conservées dans leur « emballage » d'origine. Ainsi nous avons pu observer des conditionnements divers et variés : papiers, verreries scientifiques, boîte en carton, enveloppes, cahiers scientifiques, vitrine d'exposition (boîtes entomologiques) et réunissent plus 1300 échantillons. De surcroît, le rangement au sein des réserves rassemble ces collectes sans organisation particulière, à l'inverse de la constitution d'un herbier où les informations sont déterminées, identifiées et classées. Ici, l'amas de cette collection de cheveux devient un stéréotype. A l'image des vitrines du Musée d'Auschwitz où des cheveux et autres objets personnels ont été récupérés et exposés pour la mémoire, ces collectes peuvent - être comparées à une diversion de l'histoire. Le « racisme scientifique »¹ se développe avec les

¹ Bancel Nicolas et al. Zoos humains. Au temps des exhibitions humaines, Paris, La Découverte, Poche/Sciences humaines et sociales », 2004

« zoos humains, qui par ailleurs perdurent encore dans notre société contemporaine : récemment la performance/expo de Brett Bailey au festival d'Avignon, où étaient dévoilés des « tableaux vivants » reconstituant l'exploitation coloniale, est un exemple résultant d'un phénomène culturel occidental. Exhiber un être humain génère un processus de réification de l'homme. L'être humain n'est plus sujet mais objet. L'homme déshumanisé devient inéluctablement une chose.

Cet échantillonnage de cheveux exprime donc un témoignage temporel et fortement symbolique du lien existant entre les anthropologues et le corps humain au XIX^e siècle. Ce contexte historique se prolonge dans la continuité de l'évolution de la collection. Cédée par le laboratoire anthropologique de Paris, « en échange, à titre gratuit ou détruits pour cause d'inutilité absolue »², au Musée de l'Homme de Paris, elle est inévitablement passée d'un outil scientifique à un objet en errance, décontextualisée dans les réserves des musées.

L'étude s'est portée plus spécifiquement sur soixante trois échantillons de la collection du Musée des Confluences de Lyon. Quarante quatre mèches de cheveux ont été placées dans des bocal anatomiques en verre cylindrique, à pied et bouchés à l'émeri, à l'exception, (18 d'entre eux, conservés dans des tubes à essai avec un bouchon en liège, ainsi qu'un lot de trois typologies cheveux, rassemblés dans une boîte en carton de conservation). Chacun d'eux présente une étiquette d'identification sur laquelle nous avons pu trouver des informations concernant leur origine.

3. Réflexion méthodologique de recherche

Dans un souci de préservation des valeurs initiales qu'elle véhicule et des conditions juridiques auxquelles elle est soumise, la perspective de conservation/restauration nous a permis de maintenir l'intégrité matérielle de la collection. A la différence des œuvres d'art, cette collection scientifique connaît une rupture importante entre ses conditions initiales (usage) et actuelles (entretenues dans une «fonctionnalité inexistante»). En délégitimant la collection, nous oblitérons la mémoire de son environnement naturel et sa fonctionnalité initiale. Cependant, il est important de souligner que l'utilisation scientifique du cheveu à travers l'histoire du colonialisme est très peu évoquée. Dans ce contexte une réflexion approfondie sur l'intérêt de ces objets sensibles et sur l'expérience individuelle, en vue d'une culture scientifique personnalisée, a été soulignée, pour définir les spécificités de leur usage et leur valorisation.

Si cette collection s'inscrit dans un contexte d'étude anthropologique basé sur une idéologie temporelle, elle est aussi un héritage scientifique de l'étude anatomique au XIX^e siècle, mettant plus en évidence l'examen d'une série «d'objets» que les «objets» eux mêmes. Nous entendons par « objet », l'objet sensible, analysé, de la même manière que des fossiles ou autres objets archéologiques. La nécessité de pouvoir s'appuyer sur des séries « complètes » dans le domaine de la science a toujours été incontournable, qu'il s'agisse de travaux de systématique, de biogéographie, d'archéologie, ou de paléontologie. Une collection scientifique est par définition un « regroupement d'objets, de spécimens ou d'organismes vivants ou non vivants rassemblés à des fins de recherches scientifiques. Il est donc indispensable de conserver et d'examiner avec les moyens actuels, les échantillons parfois mal étudiés dans le passé, qui peuvent susciter de nouvelles définitions et des descriptions plus

² Archive Musée de l'Homme : Journal de sortie.

précises. Cette collection concilie les travaux antérieurs sur lesquels peuvent s'appuyer les scientifiques, et les travaux futurs pouvant-être élaborés. Si certaines pièces apparaissent comme incomplètes, elles sont une richesse, support des découvertes à venir.

Le cheveu est un élément de la pilosité humaine dont l'importance ne s'est jamais démentie à travers les civilisations. Par toutes les informations qu'il contient, il est le reflet de notre personnalité, l'indicateur de notre mode de vie et de notre santé, le témoin de notre passé. Le cheveu est également utilisé aujourd'hui pour la résolution d'énigmes judiciaires ou la détection de suspicions de maladies. Assurer l'étude scientifique de collections et «concourir à la recherche» permettraient donc de réinstaurer sa fonctionnalité d'origine actualisée dans un environnement muséal. Pour ce faire, il a été important d'envisager un protocole de conservation, de conditionnement et de manipulation, adapté à la recherche. A l'opposé, l'établissement d'un usage scientifique donne à la collection une dimension utilitaire en tant qu'«objet», et non plus d'objet évoquant l'identité d'un individu. Bien que sa fonction initiale, dans son contexte historique, incarne cette image, et malgré les confusions juridiques relatives aux restes humains, l'évolution du statut de cette collection la situe en tant qu'objet sensible. Des recherches ont été entamées sur l'identité culturelle de la collection permettant de mettre en avant les relations entre collecteurs et collectés. Nous ne pouvons annihiler cette relation, ni l'importance de l'histoire de l'individu dans son contexte d'origine. Chaque élément constituant une information portant sur sa valeur identitaire doit-être conservé. Des minéraux ou végétaux collectés avec l'échantillon, jusqu'aux traces d'usages scientifiques dont il a fait preuve. Ces éléments sont une richesse indéniable pour connaître l'environnement de développement de l'individu et son contexte d'étude. Par ailleurs, l'identité culturelle est à la fois stable et mouvante. Elle peut évoluer dans le temps. Entre ces tensions, il faut réhabiliter la place du sujet. Le conservateur/restaurateur doit prendre en compte qu'elle est également une source de connaissance pour un groupe social à la recherche de ses origines. C'est l'occasion d'apprendre qu'« être soi » se fait à travers un « être autre». L'identité est toujours le fait d'une construction. Et cette construction est la résultante de notre propre regard et du regard porté sur et par l'autre. Si l'on considère l'individu, non pas comme une essence *a priori*, mais comme un ensemble de traits identitaires plus ou moins stables, plus ou moins mouvants, une valeur culturelle circule à travers notre groupe social. L'identité culturelle est donc un processus relationnel. « *Dans son sens le plus large, la culture peut aujourd'hui être considérée comme l'ensemble des traits distinctifs, spirituels, matériels, intellectuels et affectifs qui caractérisent une société ou un groupe social. Elle englobe, outre les arts et les lettres, les modes de vie, les droits fondamentaux de l'être humain, les systèmes de valeurs, les traditions et les croyances.* »³

Ainsi la définition de l'Unesco nous conduit à traiter la collection dans un objectif de valorisation de son identité culturelle.

Parallèlement, cette valorisation peut engendrer un processus de demande de restitution des ethnies concernées. Face à cela, le conservateur/restaurateur doit envisager les paramètres de conservation dans le plus grand respect de l'individu et de son groupe social en préservant et en rendant disponibles les données recueillies. Cela faciliterait les échanges et la transmission des savoirs car « *les musées doivent promouvoir le partage des connaissances, de la documentation et des collections avec les musées et les organismes culturels situés dans les pays et les communautés d'origine.* »⁴

³ Définition de l'Unesco 1982 Convention 2001

⁴ Code de déontologie de l'ICOM

Dans son programme scientifique et culturel, en accord avec le code de l'ICOM, le Musée des Confluences respecte la diversité culturelle en élaborant des échanges et des rencontres dans l'objectif de promouvoir et de partager des connaissances. Le projet de recherche a permis de mettre en avant le potentiel muséal que peut constituer la collection au sein de l'institution. Non seulement, elle peut-être une base de recherche pour les scientifiques, mais elle est également porteuse de valeurs humaines constituant le noyau éthique de toutes les cultures. Éduquer, confronter les regards et établir un cercle d'études, rassemblant diverses disciplines (scientifiques, anthropologues, artistes, étudiants etc..) peuvent-être les prémices d'une mise en relation entre un contexte historique figé dans le temps et l'évolution actuelle de notre société.

Les moyens qui ont été mis en place pour aborder et répondre aux problématiques posées, tout en gardant un regard critique et distancié quant à la collection se sont avérés utiles dans l'élaboration d'une proposition de traitement de conservation. Comprendre l'histoire de la collection, la technologie de ses matériaux et leur état de conservation en collaboration avec les professionnels de l'ESAA (Ecole Supérieure des d'Art d'Avignon), du Musée des Confluences de Lyon, de l'Ingénierie de la restauration des patrimoines naturel et culturel, UMR IMBE CNRS 7263 de l'université d'Avignon et des pays de Vaucluse, du Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France ainsi que des professionnels du domaine de la conservation-restauration, a permis d'envisager des traitements permettant d'atteindre les objectifs établis sans porter préjudice aux matériaux constitutifs de la collection.

4. Approche de la démarche scientifique :

Afin de comprendre les matériaux constitutifs ainsi que l'origine des dégradations visibles de la collection, des analyses scientifiques ont été effectuées.

L'analyse scientifique a permis d'approfondir les observations faites sur les premiers examens (constat d'état) de la collection, sous divers aspects comme la structure ou la composition chimique des matériaux constitutifs. Le choix des méthodes dépend de la nature de ces matériaux et du contexte de l'étude. L'examen matériel de la collection a révélé différents agents plus ou moins nocifs qui ont engendré des altérations visibles et probablement non visibles sur les prélèvements de cheveux et les bords anatomiques. La nécessité de préserver l'intégrité de l'œuvre a conduit à privilégier les méthodes non destructives et tout spécialement celles ne nécessitant que d'infimes prélèvements ou mieux encore celles permettant une analyse in-situ sans prélèvement. L'objectif de ces analyses est l'identification des matériaux constitutifs de la collection et leur état de dégradation.

L'examen par MEB-EDS a permis d'étudier la surface du cheveu et d'identifier les insectes présents dans la collection. Les insectes prélevés ont été observés à la loupe binoculaire et au microscope électronique à balayage (MEB), afin de mettre en évidence leurs caractéristiques morphologiques. Ces observations ont été comparées aux données présentes dans la littérature spécialisée (cf. Références bibliographiques). Les images MEB du C2RMF ont été réalisées avec l'accompagnement de Nathalie Gandolfo et d'Eric Laval.

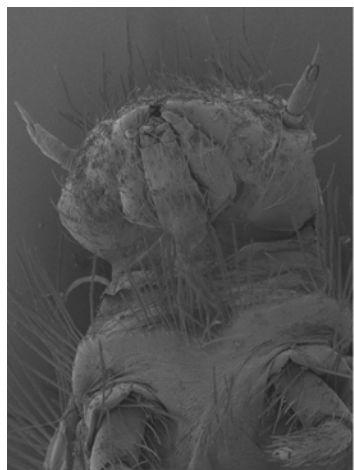
L'identification, des espèces mises en cause, dans les dégradations des échantillons de cheveux a été confirmée par le laboratoire d'entomologie du CICRP. Une analyse élémentaire du verre a été effectuée afin de connaître sa composition en éléments chimiques. Cette opération a été réalisée avec AGLAE (Accélérateur grand Louvre d'analyse élémentaire). La principale ligne expérimentale d'AGLAE a été conçue pour obtenir un microfaisceau extrait à l'air, pour l'analyse directe des œuvres sans prélèvement ni préparation ou mise sous vide. La

ligne d'analyse est équipée d'un dispositif de focalisation qui permet de réduire la taille du faisceau jusqu'à environ 10 µm et de réaliser ainsi une microsonde nucléaire à pression atmosphérique pour l'analyse d'objets de toute taille, de toute forme, même des plus fragiles. La méthode d'analyse est basée sur l'interaction entre les ions incidents, les atomes constitutifs des matériaux, et la détection des produits de l'interaction (photons ou ions secondaires) dont l'énergie est caractéristique de l'atome-cible. Elle possède de très bonnes performances analytiques tout en étant non destructives. Les trois bouches anatomiques ont été analysés par extrait d'air. Aucun prélèvement n'a été effectué. L'objectif est de déterminer leur composition afin d'en révéler sa nature typologique. Les analyses ont été effectuées avec l'accompagnement de Quentin Lemasson, Brice Moignard et Isabelle Biron. Cependant, dans l'objectif de déterminer l'état d'évolution du verre, des prélèvements de particules adhérant à la surface du verre ont été réalisés à l'aide d'un adhésif double face. Ces préparations ont été recouvertes d'une fine couche de carbone (métallisation) pour les rendre conductrices et étudiées au MEB (électrons de 15 keV), dans les conditions habituelles, et des analyses EDS ont été effectuées sur un certain nombre de zones où des particules étaient visibles.

Enfin, des analyses supplémentaires ont été effectuées. Nous avons pu remarquer en surface des échantillons, un dépôt blanchâtre et la présence d'une matière grasse au niveau des goulots des bouches anatomiques. Cette dernière permettait leur parfaite herméticité. Une analyse infrarouge a permis de révéler la nature cette grasse et les analyses par MEB, ont permis de mettre en avant les éléments chimiques relatifs aux cristaux. Connaître la nature de ces matériaux facteurs de dégradation a permis d'envisager les choix des techniques de conservation de la collection.

5. Interprétations des analyses scientifiques

Analyses par MEB et Identification des insectes



Les différents insectes analysés appartiennent pour la plupart à la même famille et au même genre. Il s'agit essentiellement d'exuvie larvaire d'Anthrène. L'adulte de l'*Anthrenus verbasci* ressemble beaucoup à celui de l'*A. museorum* ou de l'*A. flavipes* ; les critères de reconnaissance donnés pour chacune de ces espèces présentes dans les fiches de l'INRA1 permettront toutefois de les différencier.

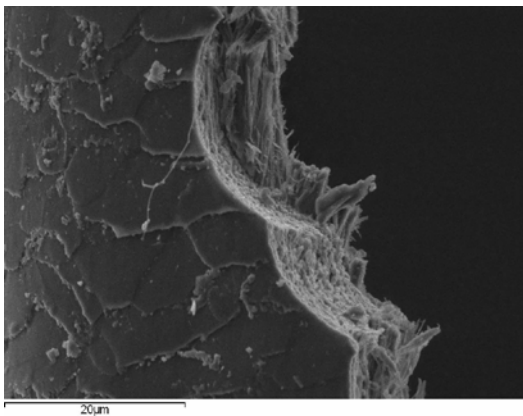
Les recherches documentaires ont dirigé notre hypothèse vers un insecte de la famille des Dermestides. Cette exuvie larvaire s'apparente au genre *Anthrenus*. Les informations récoltées pour tenter de déterminer l'espèce semblent être en corrélation avec l'espèce «*verbasci* ». La taille de l'*A. verbasci* atteint 4.5mm à la fin de son développement. Celui-ci s'apparente à un ver blanc couvert de poils. Le corps est étroit en s'élargissant vers l'arrière. La larve de l'*A. Verbasci* possède sur tout le corps des touffes de poils sombres qui sont plus longs sur les cotés. A l'extrémité inférieure de l'abdomen, elle possède 3 trois plumeaux de longues soies lancéolées convergentes vers l'arrière. La coloration orangée de la tête de l'*A. verbasci* permet de le différencier des autres genres d'*Anthrenus*.



L'adulte de l'Anthrène se nourrit du nectar des fleurs en particulier celles d'ombellifères et du bouillon blanc. L'hiver le conduit à se mettre à l'abri, fréquemment dans les maisons. Il est également retrouvé dans les musées. Ses larves se nourrissent des collections organiques (collection entomologique et les animaux naturalisés: poils de mammifères et plumes d'oiseaux). L'*Anthrenus verbasci* est un prédateur de larves de chenilles comme celles du *Bombyx disparate*. A l'exception de la période de juin à octobre, les adultes ne sont pas nuisibles; seules les larves, détruisent les collections. Une inspection régulière des collections peut limiter une infestation.

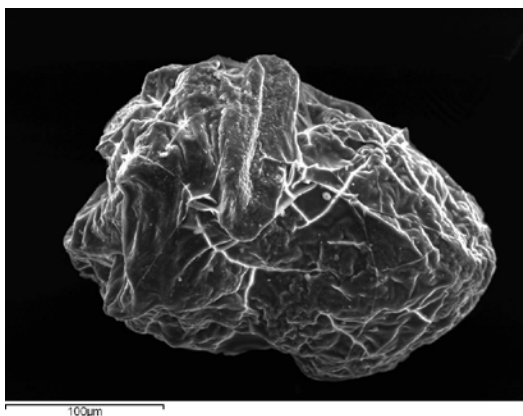
Les insectes identifiés sont capables de digérer la kératine ou le collagène (protéine de constitution que l'on trouve dans le cuir, dans les cheveux, dans la laine, les poils, les fourrures, les plumes). Ils sont nocifs pour les objets de collection. Il n'a pas été possible d'examiner l'ensemble de la collection. En revanche, il est essentiel de connaître les insectes nuisibles, leur nature et l'identification des risques. Les insectes est de 20°C à 30°C. Ils sont relativement tolérants à l'humidité. Cependant, la plupart préfèrent une humidité de 60 à 80%. Les coléoptères et les lépidoptères subissent des métamorphoses. Ils effectuent leur cycle de développement annuel suivant le schéma ci-dessous. Ces quatre stades se différencient par des durées, des états morphologiques et des activités différentes.

Altérations des échantillons liées aux insectes



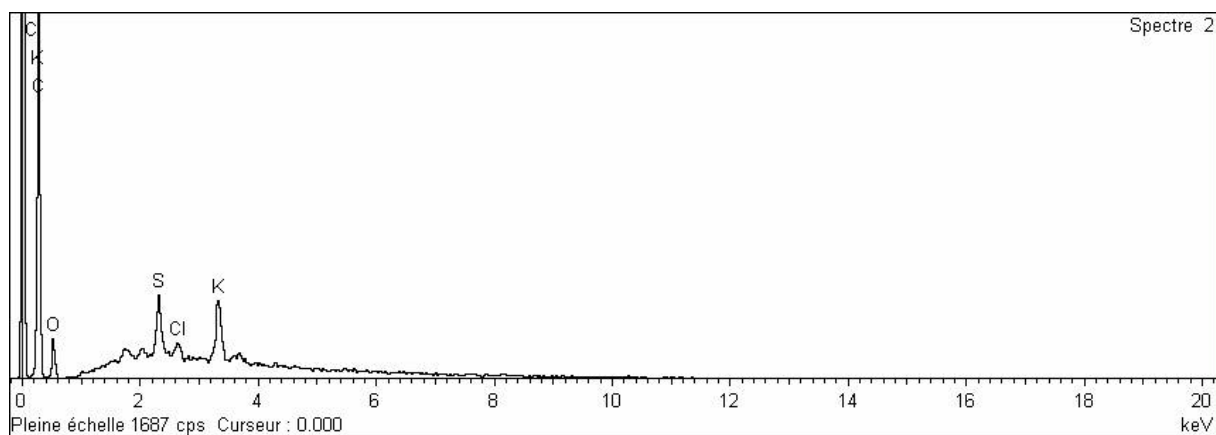
L'échantillon 30002277 ci contre, provenant du Mozambique et appartenant à une «négresse Macoura», est de chevelure dite en toison (Ericomes) et de typologie laineuse (ulotrique). Nous n'y avons pas retrouvé de « cadavres d'insectes », cependant, nous pouvons observer que la fibre capillaire montre des traces de leur passage. Une partie de l'échantillon prélevé pour les analyses présente des pertes de matières détruites par ces insectes.

Particules non identifiées :

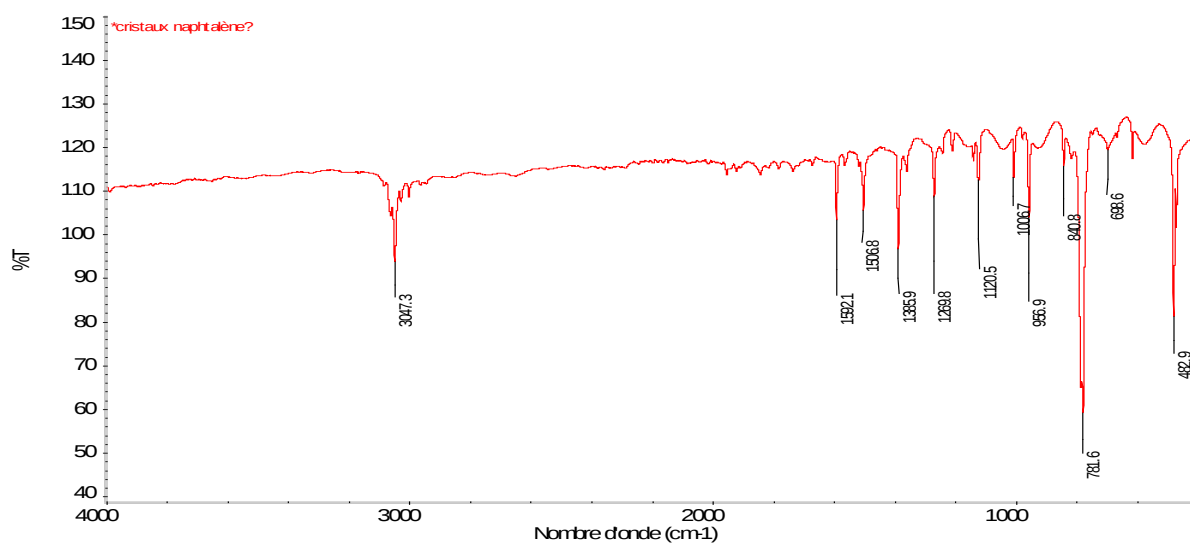
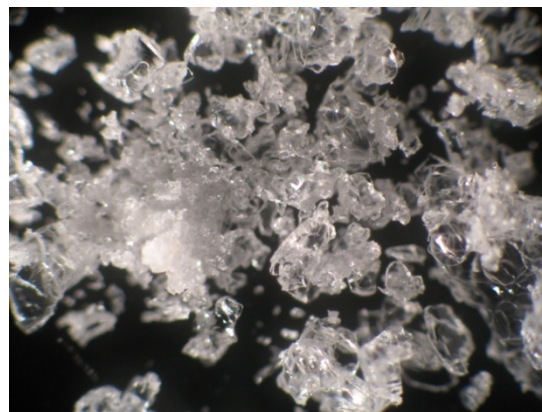
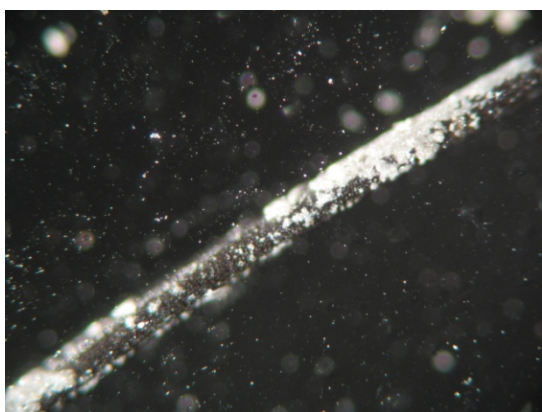


L'élément observé peut-être assimilé à des excréments d'insectes. Il est possible également Vermoulure ou excrément d'insectes que par son aspect de surface ainsi que ses dimensions, cette particule soit de la vermoulure.

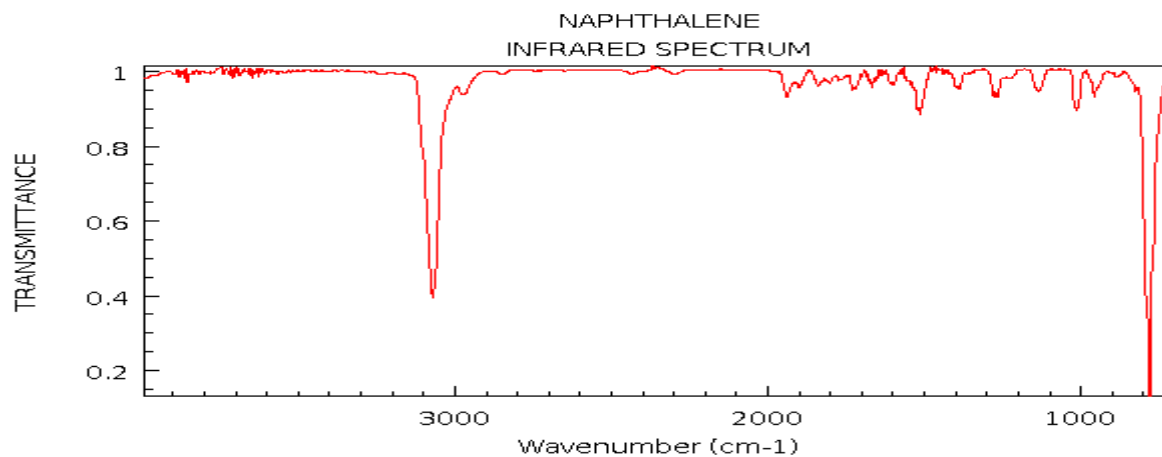
Le spectre nous montre la présence majoritaire de calcium, de carbone et de potassium ainsi que d'autres éléments (sans doute des contaminations) de zinc, sodium, chlore et soufre.



Analyses IR des cristaux : interprétation de la nature du matériau



L'ensemble des bandes d'absorption du spectre traduit par l'analyse en IR montre qu'il s'agit du naphthalène. Le naphthalène est un hydrocarbure aromatique polycyclique : c'est-à-dire des molécules constituées d'atomes de carbone et d'hydrogène mais dont la structure comprend

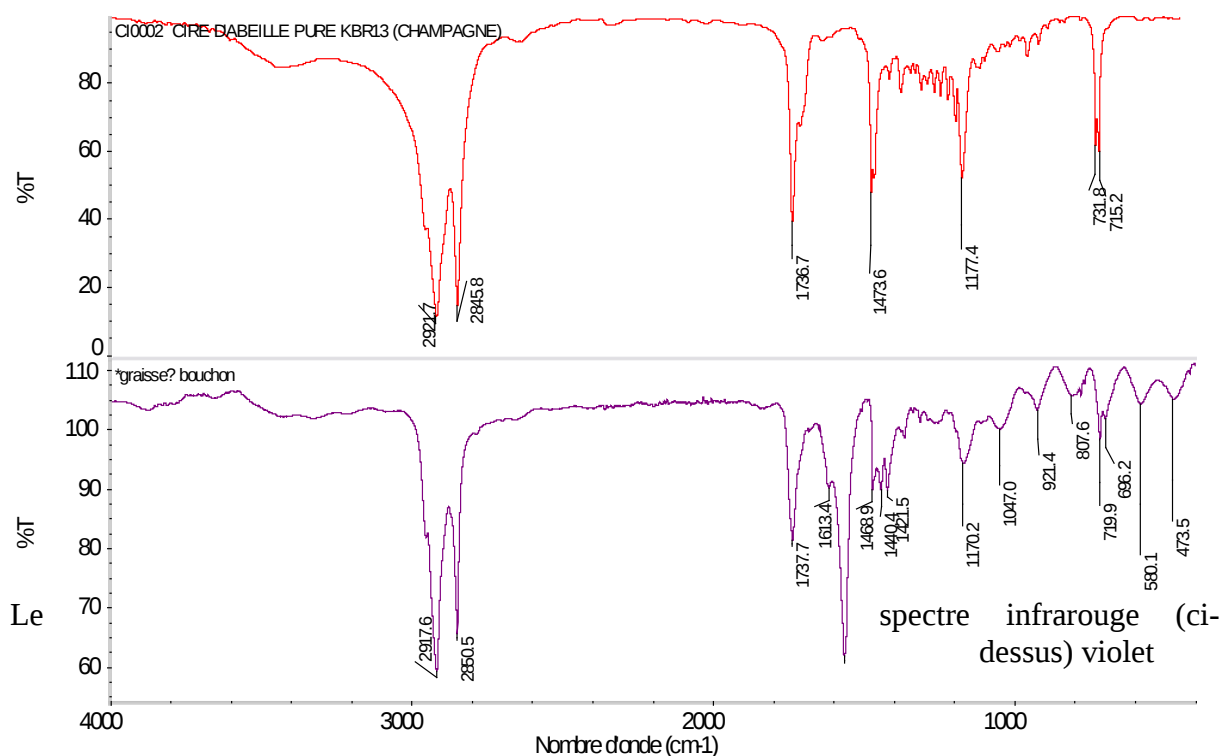


NIST Chemistry WebBook (<http://webbook.nist.gov/chemistry>)

au moins deux cycles aromatiques condensés. Ce matériau est principalement utilisé comme intermédiaire de synthèse dans la fabrication de nombreux composés organiques comme le naphthalène sulfonate (agent de tannage dans l'industrie du cuir, dispersant dans les caoutchoucs, plastifiant pour le béton), ou encore les solvants (l'hydro naphthalène), les insecticides. Le naphthalène peut se présenter sous forme de cristaux, de poudre dont la couleur de base est blanche. Sa caractéristique vient de son odeur détectable à très faible concentration. Il se sublime à température ambiante en émettant des vapeurs. Sa solubilité dans l'eau est très faible (30mg/l) mais il devient soluble dans la plupart des solvants organiques (très peu dans les alcools et le benzène, soluble les solvants aprotiques polaires, dans l'éther et le tétrachlorure de carbone). Le naphthalène brûle, dégageant une fumée âcre. Sa décomposition thermique forme des gaz et des vapeurs toxiques comme l'oxyde de carbone. C'est un produit qui réagit avec les oxydants forts, tel que le chlorure de benzène ou encore le chlorure d'aluminium. Il est à noter qu'au contact de l'eau et d'une température supérieure à 110°C le naphthalène fondu peut engendrer la formation de mousse responsable de surpression.

Il est donc déconseillé en cas d'incendie, l'utilisation d'eau. Ses propriétés répulsives pour les insectes ont été largement étudiées. Après absorption, le naphthalène ou ses métabolites sont distribués par le sang, dans tout l'organisme. Les recherches ont montré que les concentrations les plus élevées, après une exposition par voie orale sont mesurées au niveau du tissu adipeux, des poumons, du foie et du cœur. Grâce à l'analyse effectuée sous la platine chauffante de microscope, nous avons pu déterminer son point de fusion qui est de l'ordre de 79°C-80°C. L'analyse s'effectue par observation microscope du corps étudié par son passage de l'état solide à l'état liquide. Un dégagement d'odeur acide, émane de l'expérience. Cette odeur est également olfactive, lors de l'ouverture des bouches anatomiques. Sa solubilité dans l'eau (deminéralisée) et dans l'alcool est faible.

Analyses de la graisse permettant l'herméticité des bocaux : interprétation de la nature du matériau



traduit par l'échantillon 30002244, représente la cire d'abeille (spectre rouge). L'échantillon ne contenant pas uniquement ce produit, le spectre montre également d'autres bandes d'absorption non attribuées. Il est évident que le produit permettant l'herméticité des bouchons est constitué de différents mélanges de matières lipidiques. La cire d'abeille est un élément principal de ce mélange. Ses propriétés hydrophobes et antibactériennes en faisaient l'un des principaux ingrédients de la momification par les embaumeurs de l'Égypte Antique. Elle est cependant soluble dans le chloroforme, le benzène, l'éther.



L'échantillon prélevé sur le bouchon 30002244 a été observé sous une platine chauffante. La température de fusion s'élève à 70°C – 76°C. Afin d'effectuer un descellement du bouchon, le passage de l'état solide à l'état plus ou moins vitreux est nécessaire. Pour ce faire, une chauffe ne dépassant pas les 30°C a suffi.

La présence de naphthalène (C₁₀ H₈) composé de carbone et d'hydrogène et métallisation des échantillons au carbone pour l'analyse MEB, faussent les résultats. L'élément carbone présent dans les spectres peut-être également issu du support double-face et de la métallisation. Sa toxicité nous amène à proposer un traitement d'élimination du produit. Dans un objectif de conservation de la collection et de protection des personnes pouvant la manipuler, il est

nécessaire de le retirer des bouchons. La graisse servant d'herméticité au bouchon en verre est composée en majorité de cire d'abeille. Il est évident qu'il existe d'autres éléments chimiques dans la préparation de cette graisse. Une analyse chimique par chromatographie en phase liquide à haute performance (HPLC) permettrait d'identifier ces autres éléments. Le temps imparti ne nous a pas permis de le faire, cependant, il serait intéressant d'envisager cette analyse afin de comprendre le contexte historique de sa fabrication.

Analyses du verre : interprétation de la nature du matériau

Le Tableau ci-dessous montre la teneur en Na₂O calculée par Gamma (analyse des verres en %)

	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	As ₂ O ₅	SrO	BaO	Total
2231	16,00	0,30	0,45	66,45	0,53	0,11	3,73	11,59	0,06	0,01	0,09	0,21	0,27	0,21	100,00
"	15,69	0,20	0,52	66,82	0,54	0,10	3,74	11,72	0,04	0,01	0,09	0,26	0,08	0,20	100,00
"	16,30	0,30	0,52	66,41	0,50	0,12	3,74	11,56	0,05	0,01	0,09	0,19	0,20	0,01	100,00
"	16,22	0,29	0,52	66,42	0,51	0,11	3,72	11,49	0,04	0,01	0,09	0,16	0,21	0,20	100,00
2238	20,14	0,17	0,20	70,99	0,09	0,16	0,58	6,74	0,03	0,10	0,05	0,21	0,11	0,43	100,00
2243	20,41	0,32	0,20	69,42	0,46	0,18	0,76	7,12	0,03	0,08	0,04	0,47	0,12	0,41	100,00

Le tableau de composition normalisé avec Na par PIGE conduit à une analyse qui est plus proche de celle des verres sodocalciques modernes. Les verres sodocalciques sont composés en majorité de 69-74% de silice SiO₂, de 5-12% d'oxyde de calcium CaO, de 0-3% d'oxyde d'aluminium Al₂O₃ et de 12-16% d'oxyde de sodium Na₂O. En observant les éléments des 3 verreries étudiées résultant des analyses PIXE, les fortes concentrations en Na₂O et en CaO les distinguent de la composition chimique des autres types de verre: (verre borosilicaté, verre au plomb ou encore verre de silice). Par conséquent, la comparaison avec le verre ordinaire indique des caractéristiques semblables. Les valeurs obtenues par les analyses AGLAE, orientent notre recherche vers les verres sodo-calciques, de type, verre ordinaire moderne.

Le Tableau ci-dessous montre la teneur en Na₂O par comparaison d'analyse PIGE / PIXE

échantillons	Na ₂ O PIGE	Na ₂ O PIXE	PIXE/PIGE
2231	16,00	11,33	0,71
"	15,69	11,48	0,73
"	16,30	11,47	0,70
"	16,22	11,7	0,72
2238	20,14	12,62	0,63
2243	20,41	11,44	0,56

Par ailleurs, les valeurs en PIGE donnent une teneur en Na plus élevée que les valeurs en PIXE, dès lors que l'échantillon est corrodé. L'écart entre les deux valeurs est directement relié à l'épaisseur désalcalinisée. Un verre réagit selon les conditions environnementales dans lesquelles il se trouve, ce qui va entraîner une modification de sa composition originelle aux abords de sa surface. Le mécanisme de dégradation du verre par une solution acide ou neutre se traduit par l'échange d'ions entre la solution aqueuse et la surface du verre, c'est la désalcalinisation, (échange Na⁺ du verre avec H₃O⁺ du milieu ambiant). Concernant les verres étudiés, nous pouvons supposer que les conditions de conservation ont été satisfaisantes, puisque le taux de désalcalinisation reste faible. Nous pouvons néanmoins constater une différence de taux de désalcalinisation, des trois verres étudiés. Les bouchons anatomiques (30002238 et 30002243) sont plus altérés que le tube à essai (30002231).

6. Proposition d'intervention de conservation

L'intervention de conservation/restauration se base sur des traitements permettant une meilleure lisibilité des échantillons. Dans ce cadre, elle visera à stabiliser les dégradations de la collection dans son ensemble permettant la manipulation des pièces dans son environnement de conservation. Les niveaux d'interventions seront ciblés et réfléchis dans une orientation de conservation préventive⁵ et curative. Les interventions préventives s'attachent au mode de conditionnement de la collection dans le cadre de son transport et de son stockage dans les réserves. Une réflexion doit-être menée face à la fragilité des bocal et tubes en verre, si ceux-ci doivent-être manipulés. Ce conditionnement devra permettre une meilleure stabilité, accessibilité, lisibilité de la collection. Une réflexion sur la mise en place d'une documentation visuelle des échantillons sera également envisagée.

Les interventions de conservation curative vont s'attacher à rendre une lisibilité de l'échantillon à travers le verre. Son appréciation visuelle est obstruée par un encrassement lié à la présence d'agents polluants et toxiques. L'objectif est de rendre une homogénéité à l'ensemble de la surface. Toutefois, il est possible que l'effacement total de cet encrassement ne soit pas réalisable et ce n'est pas la finalité de ce traitement: en effet, certains polluants témoignent de l'identité culturelle de la collection. Il est donc nécessaire d'envisager des limites d'intervention évitant ainsi d'annihiler l'essence des échantillons. De plus, une réflexion sur le marquage du numéro d'inventaire des échantillons est prévue prochainement. La fragilité actuelle de ce dernier ne permet pas une conservation adaptée à long terme. Considéré comme un marquage « provisoire », il est nécessaire de pérenniser l'identification administrative de la collection. Ces paramètres de dégradation conduisent à la perte des données et de l'identité formelle de la collection.

Ce projet de conservation restauration envisage pour chaque traitement d'utiliser des techniques et des matériaux permettant d'atteindre les objectifs établis sans porter préjudice aux matériaux constitutifs de la collection.

7. Traitement réalisé sur la collection

Assainissement curatif et préventif : Retrait du naphthalène par réaction de sublimation

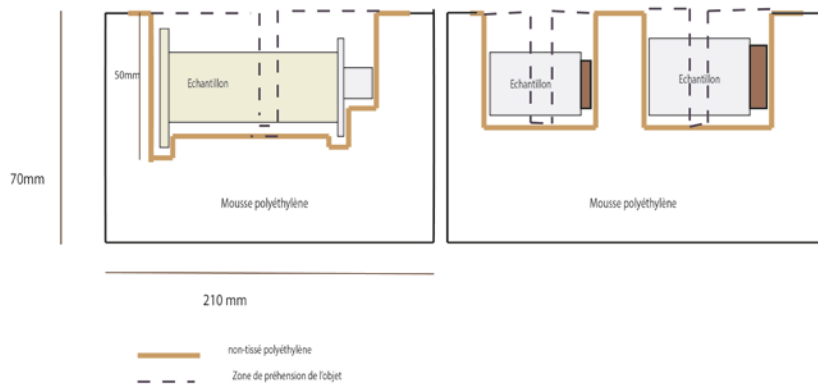
Le Naphthalène est un matériau constitutif de la collection. Cependant, il est devenu pulvérulent ou s'est cristallisé, provoquant ainsi des modifications visibles tant sur le verre que sur les cheveux. L'intervention de retrait de ce matériau n'efface pas l'histoire de la collection, elle permet de lui redonner une compréhension et d'éliminer un agent toxique de dégradation. La sublimation est le passage direct d'un corps de l'état solide à l'état gazeux. Le naphthalène possède des propriétés chimiques qui permettent une sublimation bien en dessous de son point de fusion (82°C). En effet, celui-ci possède une pression de vapeur très élevée à une température ambiante. L'odeur qui se dégage des bocal est une réaction naturelle de sublimation du naphthalène. Cependant, il reste encore des cristaux dans les bocal. Cela s'explique par la limite de saturation de l'air ambiant interne aux bocal, à l'absorption du gaz émis par le naphthalène. Par conséquent, la chaleur combinée à l'aspiration de l'émission

⁵ La conservation préventive recouvre l'ensemble des actions qui permettront d'anticiper, de prévenir et de ralentir les altérations de la collection. L'objectif est d'agir, indirectement, sur les facteurs de dégradations auxquels ils sont soumis. La conservation curative va impliquer une intervention directe sur la collection dans l'objectif de retarder les altérations.

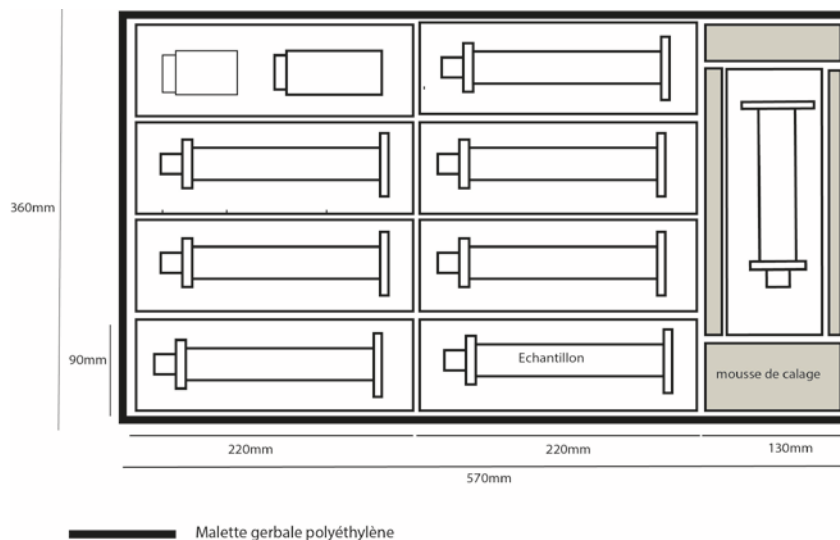
de gaz a favorisé le retrait par sublimation du naphtalène sans causer de dommage à l'échantillon

Conditionnement de la collection

Conditionnement individuel des bocaux -vue en coupe:



Inséré dans une mousse en polyéthylène, préalablement creusée à sa forme et surmontée d'une couche de non tissé de fibres de polyéthylène



Les verres ont des points de fragilité plus importantes lorsqu'ils sont conditionnés à l'horizontal. En effet, les légères pressions exercées de manière régulière entre les deux surfaces du verre favorisent à long terme des points de ruptures et par conséquent une fissuration.

Les vibrations, les chocs thermiques, la lumière sont autant d'éléments qui accentuent leur

dégradation. Il est donc important de contrôler ces paramètres dans le lieu de conservation. *A priori*, leur stabilité physique est plus efficace lorsqu'ils sont sur pied. Cela peut toutefois présenter un risque majeur lors de mauvaises manipulations. Afin de répondre aux différentes exigences explicitées ci-dessus, la position horizontale s'avère être la mieux adaptée. Le conditionnement, présenté ci-dessus garantit une neutralité de mouvements des pièces, un espace individuel, facilitant l'accès et la possibilité d'examen.

8. Les altérations non traitées

Des altérations visibles et non visibles ont fait l'objet d'une attention toute particulière. Les limites d'interventions nous ont conduits dans le choix d'écarter certains traitements qui s'avèrent nocifs pour les échantillons. L'identité matérielle et physique de la collection doit-être mise en valeur dans le cadre de la conservation/restauration.

Restauration du verre :

La désalcalinisation du verre ne peut être traitée ici. Il s'agit d'une altération spécifique au verre. En présence d'acide ou de d'humidité, le mécanisme d'attaque chimique est une dissolution des éléments alcalins voire du réseau. Ceci s'explique par l'échange d'ions entre une solution aqueuse et la surface du verre. Par ailleurs, la présence de rayures favorise également l'altération ponctuelle puisqu'elle favorise le confinement des alcalins et ainsi entraîne une augmentation du pH et la dissolution du réseau. Bien que la sublimation interne du naphthalène intervienne probablement dans la modification chimique du verre (formation en surface d'oxydes) l'altération reste néanmoins peu importante sur la collection.

Restauration des cheveux :

Les cheveux sont composés de différents matériaux organiques qui sont témoins d'une histoire individuelle ou collective. De plus, dans de bonnes conditions de conservation, la ré-infestation de la collection sera limitée. Si la surveillance et le suivi sont respectés, il n'est pas nécessaire de retirer les insectes kératinophages, puisqu'ils font aujourd'hui partie de la valeur historique de la collection.

Retrait de la graisse :

La technique de l'herméticité des bouchons est une trace historique de mise en oeuvre et de pratique scientifique. Les retirer reviendrait à renier les valeurs historiques de la collection

9. Proposition d'une mise en valeur de la collection

Les traitements de conservation effectués sur la collection permettront de la mettre en valeur dans un contexte de diffusion des connaissances. La finalité de cette étude ne tend pas à ce que cette collection retombe en désuétude. Au contraire, la conservation/restauration vise à répondre aux exigences du programme du musée. En effet, le Musée des Confluences instaure une politique d'échanges pluridisciplinaires (scientifiques, anthropologues, archéologues, sociologues, médiateurs, restaurateurs conservateurs) afin d'apporter des informations complémentaires de compréhension, de ses collections. La mise en valeur de ces rencontres (participant au projet culturel du musée), s'effectue par une publication (documents – vidéo-médiations). Ainsi ce mouvement favorise une meilleure relation entre collection/public. Il est toutefois nécessaire que le sens de la collection soit dans la continuité du statut qu'il lui est conféré (objets d'étude et de recherche scientifique et anthropologique) dans une fonctionnalité non fixe dans le temps. La dualité entre stabilité historique et réactivation d'enrichissements de la collection, lui accorde une place dans un programme éducatif ainsi que dans une réflexion intellectuelle au sein de l'institution conservatrice. Il est permis d'envisager une fonctionnalité de la collection à travers l'histoire qu'elle véhicule.. Cependant. La liste des individus présents dans la collection forment un corpus de notes qui se rattache à différents chercheurs. Bien plus qu'un rassemblement d'objets hétérogènes, il s'agit d'assurer la postérité du collectionneur. Ce dernier, de par son contexte temporel reste relié à sa collecte. Considérer sa collection entière en tant qu'œuvre d'art a pour effet d'historiciser la figure du collectionneur. Créer un rapport thématique et formel permet de (re)visiter le passé à partir du présent. Ainsi, nous avons un échantillon représentant un individu qui parfois est associé à une image. La photographie est également une perspective de valorisation de l'individu. L'exposition photographique n'exclut néanmoins pas

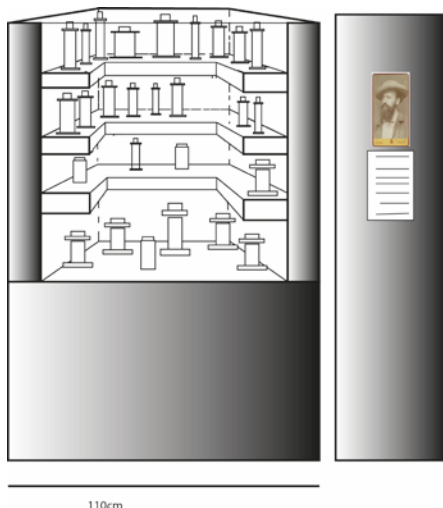
l'échantillon qui reste le support premier. Ces échantillons représentent l'un des nombreux exemples d'éléments historiques du colonialisme. Ils ouvrent des horizons de perception de l'histoire qui dépassent les expériences vivantes d'identification.

Condition d'exposition

L'exposition des verres altérés qui sont comme nous l'avons vu, désalcalinisés, doit se faire sous une intensité lumineuse inférieure ou égale à 150 lux. Il faut éviter autant que possible une lumière directe. Il en est de même pour les cheveux qui sont également sensible aux rayons UV provoquant ainsi une décoloration irréversible des fibres. Il est important de placer la collection dans un espace ventilé à environ 18°C avec un taux d'humidité maintenu à 40%. Les brusques variations de température ne constituent pas des garanties de bonne conservation. La stabilité hygrométrique est importante pour ces deux matériaux.

Mode de présentation

Il ne s'agit pas de présenter toute la collection mais de diffuser un contexte historique très peu évoqué dans l'univers de la médiation culturelle. Utilisé dans des domaines particuliers dont le contexte scientifique et anthropologique s'avère novateur dans la période coloniale mais qui interroge aujourd'hui. Sa découverte par un public amateur ou avéré est un moyen



intermédiaire de valorisation de la collection, tout en tentant de relier les deux espaces temps. Tout collectionneur, scientifique, ethnologue d'aujourd'hui peut trouver des bases documentaires et un intérêt particulier pour cette collection. Le mode de présentation choisi fait référence à l'analyse, la hiérarchisation, la découverte de l'homme et de son environnement propre. Établie dans un contexte figé, propice à l'étude, une exposition linéaire des bocaux, (telle que nous pouvons la voir dans

les laboratoires scientifiques d'hier comme d'aujourd'hui), confronte deux univers semblables mais éloignés dans l'espace temps. A l'image d'une orgue à parfum, la collection de cheveux montre une diversité d'échantillons, classée, inventoriée et documentée. Pour des raisons de sécurité, les échantillons seront placés dans une vitrine sur des étagères. Il est indispensable d'assurer l'ensemble contre les vibrations : les verres exposés sur des étagères risquent de glisser. Des tapis antidérapants peuvent pallier cet inconvénient. Ils doivent-être disposés de manière à ce que les plus lourds soient à bonne distance des plus petits (les grands objets en arrière). L'équilibre des emplacements est nécessaire, l'accumulation d'objets sur l'étagère est à éviter, cela gênerait lors de leur préhension. La vitrine doit-être choisie sciemment avec des matériaux inorganiques.

Bibliographie

Ouvrages scientifiques

BELLAMY L.J., *The infrared spectra of complex molecules*, Vol. 1 (3rd ed.), Halsted Press, a division of John Wiley & Sons, Inc., New York, 1975
BERZELIUS J.J., *Traité de chimie volume 2*, Firmin Didot frères Libraires- Editeurs, Paris, 1831
DERRICK M.R, STULIK D., LANDRY J.M., *Infrared spectroscopy in conservation science scientific -tools for conservation*, The Getty Conservation Institute Los Angeles, 1999.
DELOBEL A. et TRANT M., *Les coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes*, orstom CTA édition (Institut français de recherche pour le développement en coopération Centre technique de coopération agricole et rurale) Paris 1993
RASPAIL F.V., *Nouveau système de chimie organique fondé sur des méthodes nouvelles d'observations*, Librairie de l'académie royale de médecine, J.B Baillière, Paris, 1833
Merck Sharp & Dohme Corp, *The Merck Index, a subsidiary of Merck & Co.*, 12th edition, Inc., Whitehouse Station, N.J., U.S.A., 1996, .

Ouvrages anthropologiques

BROMBERGER C., *Trichologie, une anthropologie des cheveux et des poils*, Bayard, 2010
DE L'ESTOILE B., *Le goût des autres, de l'exposition coloniale aux arts premiers*. Flammarion 2007
Dias N., *La mesure des sens*, Aubier, 2004
Dias N., *Le Musée d'Ethnographie du Trocadéro 1878-1907. Anthropologie et Muséologie en France*, CNRS, Paris, 1991
GOBINEAU M.A., *Essai sur l'inégalité des races humaines*, Librairie de Firmin Didot frères, Tome premier, Paris 1853
GOULD S.J., *La mal mesure de l'homme*, Odile Jacob, 1997
LANCON B et DELAVALAUD-ROUX M.H., *Anthropologie, mythologie et histoire de la chevelure et de la pilosité*, L'Harmattan, 2011

Documents d'archives

DAILLY M.E., *La chevelure dans les races humaines*, séance du 23 août 1874 Journal de la société d'anthropologie de Paris.
DESVEAUX E., CHAPMAN, A. et alii. — *Cap Horn, 1882-1883. Rencontre avec les Indiens Yahgan*, Journal de la Société des Américanistes. Tome 82, 1996
HAMY E.T, *Toukou le Haoussa. Souvenirs de laboratoire*, Bulletins et Mémoires de la Société d'anthropologie de Paris, V° Série, tome 7, 1906
LATTEUX P., *Sur la technique microscopique dans ses applications à l'étude de la chevelure dans les races humaines*, Bulletins de la Société d'anthropologie de Paris, II° Série, tome 12, 1877 La Société de Géographie de Paris, *Le Magasin pittoresque*, 1885
NATHUSIUS M., *Sur la forme des cheveux comme caractéristique de la race humaine* Bulletin de la Société de Géographie de Paris, Volume 3 N°3, 1868
TOPINARD P., *La carte de la répartition des couleurs des yeux et des cheveux en France*, Bulletin de la Société de Géographie de Paris, Volume 9, 1886

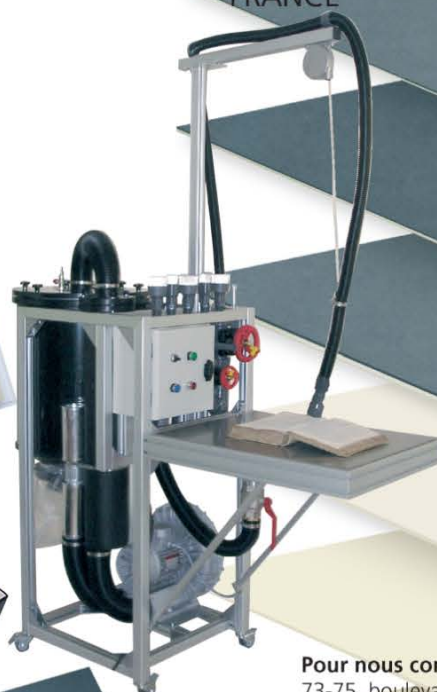
Conservation

Guidance for the care of Human Remains in Museum, www.culture.gov.uk/NR/rdonlyres/0017476B-3B86-46F3-BAB3-11E5A5F7F0A1/0/GuidanceHumanRemains11Oct.pdf
ROLLAND-VILLEMOT B., *Les spécificités de la conservation-restauration des collections ethnographiques*, Lettre de l'OCIM n°56, 1998.

Le Spécialiste
de l'Équipement
et des Fournitures
pour la Conservation
Préventive
et la Restauration



ATLANTIS
FRANCE



Pour nous contacter

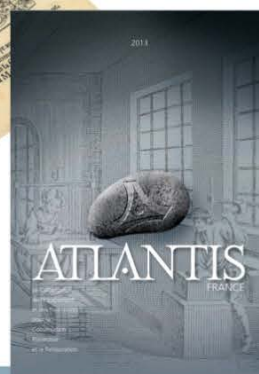
73-75, boulevard Courcerin

77185 Lognes - France

Tél : +33 (0)1 60 93 15 60

Fax : +33 (0)1 60 93 15 61

Email : contact@atlantis-france.com



www.atlantis-france.com

LES POISSONS FOSSILES DE MONTE BOLCA

ÉTUDE ET RESTAURATION

Aline RAUX

Introduction

Le gisement de Monte Bolca, daté de l'Éocène inférieur (soit environ -50 millions d'années), compte parmi les plus importants de cette période. En effet, la grande variété des espèces représentées (près de 250 espèces végétales, 150 espèces de poissons, des vers, des crustacés, des insectes, quelques méduses, des reptiles et des oiseaux) fait de Monte Bolca l'un des sites les plus riches au monde, en particulier en ce qui concerne l'ichthyofaune. De plus, la plupart des spécimens sont dans un excellent état de conservation, avec des squelettes en connexion anatomique et, pour beaucoup, des parties molles préservées sous forme d'empreintes dans la pierre, ce qui révèle des conditions exceptionnelles de fossilisation.

Le village de Bolca est situé en Italie du Nord, à environ 25 km de Vérone, dans les hauteurs dominant la vallée de l'Alpone. Il se trouve à proximité de plusieurs gisements importants, notamment la Pesciara, le gisement historique de la région d'où sont extraits les poissons fossiles depuis sa découverte au XVI^e siècle. À cette époque, quelques collections de fossiles commencent à se former en Vénétie, mais ce n'est qu'à partir de la seconde moitié du XVIII^e siècle l'engouement pour les sciences naturelles et pour les fossiles se généralise. La géologie devient un important sujet de discussion dans les Salons, et des expéditions sont organisées pour recueillir des échantillons sur le terrain, et dès 1785, dans le gisement de la Pesciara. Les spécimens de Bolca, très recherchés, deviennent les pièces maîtresses de nombreuses collections constituées dans les demeures de la noblesse véronaise et permettent d'étayer les différentes hypothèses concernant leur origine et leur formation.

1. Présentation des pièces

Différents spécimens nous ont été confiés dans le cadre de ce mémoire : quatre fossiles de poisson conservés au Muséum d'Angers (fig. 1), et une empreinte et contre-empreinte d'une grande raie provenant du Muséum national d'Histoire naturelle (fig. 2). Tous sont issus de la collection du comte Giovanni Battista Gazola, saisie par les Français pendant la première campagne d'Italie. À la suite de cette confiscation, elle a été acquise par Muséum national d'Histoire naturelle, qui a ensuite cédé certains spécimens à des muséums de province, dont celui d'Angers.

Les empreintes s'inscrivent en creux dans des gangues de pierre de couleurs variées. On observe également quelques restes fossilisés en volume : certaines nageoires, quelques arêtes et parfois des écailles. L'empreinte de la peau est conservée sous la forme d'une pellicule colorée. Sur les tranches, on peut remarquer que les plaques sont constituées de deux couches de pierre réunies par une résine brun orangé.

Les fossiles de poisson conservés à Angers, présentés verticalement sur des supports en bois, sont positionnés dans des vitrines reposant sur un buffet à tiroirs. L'empreinte et la contre-empreinte d'*Urolophus crassicaudatus* sont exposées sur le palier de l'escalier monumental de la galerie de Paléontologie du Muséum national d'Histoire naturelle (fig. 3).



Fig.1 : Fossiles de poissons conservés au Muséum d'Histoire naturelle d'Angers : *Mene Rhombea* (1), *Seriola prisca* (2), *Auxide propterygius* (3), et spécimen non déterminé (4), MHN An 2012.0.100, MHN An 2012.0.104, MHN An 2012.0.108, et MHN An 2012.0.111.



Fig. 2 : *Urolophus crassicaudatus*, Paris, Muséum national d'Histoire naturelle, BOL 566 a et BOL 566 b.



Fig. 3 : Présentation des fossiles dans les vitrines du Muséum d'Angers (1) et sur le palier de l'escalier monumental de la galerie de Paléontologie du Muséum national d'Histoire naturelle (2).

2. Étude des fossiles de Monte-Bolca

La littérature concernant les poissons fossiles de Monte-Bolca est abondante, mais concerne uniquement les aspects historiques et scientifiques. Le principal intérêt de ce mémoire était de porter un regard différent sur ces pièces, en s'intéressant tout particulièrement aux matériaux, pour la plupart ajoutés juste après l'extraction des fossiles au XVIII^e siècle et auparavant peu étudiés. La conservation et la restauration de ces objets nécessitaient une meilleure connaissance des produits utilisés lors de la préparation des spécimens. Pour cela, il était indispensable de différencier les matériaux « d'origine » des ajouts ultérieurs, puis de procéder à des analyses plus poussées sur certains matériaux.

2. 1. Étude et comparaisons

Le travail d'étude a tout d'abord été effectué à partir des spécimens conservés au Muséum d'Angers. L'examen et les analyses réalisées en atelier ont permis d'émettre les premières hypothèses concernant la préparation ancienne des plaques. Aucun élément concret n'ayant été découvert dans la littérature concernant les matériaux de la préparation, un important travail de comparaisons a ensuite été effectué à partir des nombreux spécimens provenant également de la collection Gazola et conservés dans d'autres muséums, à Paris et au Mans, mais aussi en Italie¹. Celui-ci a révélé que les spécimens de Monte-Bolca ont tous été préparés de la même façon. De nombreuses similitudes ont été observées entre les différents spécimens, ce qui a permis de différencier les matériaux anciens, datant de la préparation des fossiles, des ajouts ultérieurs. L'étude de l'empreinte et de la contre-empreinte, qui nous ont été confiées plus tardivement, est venue appuyer ces différentes observations et a montré qu'il n'y avait pas de différence de traitement pour les spécimens de grandes dimensions.

Différentes analyses ont ensuite été effectuées à partir d'échantillons prélevés sur les spécimens d'Angers et de Paris, pour déterminer les différents matériaux constitutifs et préciser les différentes hypothèses émises².

Enfin, la visite de la carrière en Italie a permis de mieux comprendre le mode d'extraction des plaques.

2. 2. Préparation des fossiles de Monte Bolca

À l'intérieur de la Pesciara, deux types de roches sont discernables : des roches basaltiques et un calcaire dolomitique stratifié, susceptible de contenir des empreintes (fig.4).

Une fois le niveau fossilifère repéré dans la carrière, des coins sont placés entre deux couches, et des blocs de roche sont détachés à la masse. Les blocs peuvent également être extraits à l'aide de pioches et de ciseaux plats (fig. 5). L'extraction s'effectue généralement en hiver³.

¹ Giovanni Battista Gazola a montré un vif intérêt pour les poissons fossiles de Monte Bolca dès 1784 et a tenté tout au long de sa vie de réunir un grand nombre de spécimens. Dès 1787, il achète une partie du gisement de la Pesciara, et effectue des fouilles sur sa parcelle. Sa collection, également complétée par l'acquisition d'autres cabinets, comporte plus de 1200 exemplaires en 1792 et devient rapidement la plus importante de la ville de Vérone. Confisquée par les français lors de la première campagne d'Italie, une partie de sa collection est désormais conservée au Muséum national d'Histoire naturelle, qui a ensuite fait don de quelques spécimens à des muséums de province (Angers, le Mans et Lyon). Le reste de la collection est désormais conservé dans les muséums de Vérone, Padoue, et Venise.

² La recherche des matériaux organiques a été confiée à Agnès Lattuat du CRCC (centre de recherche sur la conservation des collections), et l'observation MEB de la matrice calcaire et des restes fossilisés à Jean-Gabriel Bréhéret de la faculté de Géologie de Tours, ainsi qu'à Sylvain Pont du MNHN.

³ Les paysans qui constituaient la majorité de la main-d'œuvre dans la carrière étaient libérés à cette saison des travaux agricoles.



Fig. 4 : Intérieur de la Pesciara. Les niveaux fossilifères sont aisément repérables, car les deux types de roches en présence (1-roches basaltiques et 2-calcaires stratifiés) ont un aspect très différent.



Fig. 5 : Extraction des blocs dans la carrière.
© Musée de la famille Cerato, Bolca



Fig. 6 : Ouverture d'un bloc contenant une empreinte de poisson. © Musée de la famille Cerato, Bolca.

Les blocs sont placés à l'extérieur pendant plusieurs mois afin de les soumettre aux variations d'humidité et de température, ce qui fragilise la roche et permet une séparation des lits plus précise et plus aisée. Pour découvrir une empreinte, les couches sont séparées les unes des autres avec des ciseaux plats, insérés dans le sens de la stratification. Si l'une d'entre elles contient un fossile, celui-ci est clivé en deux parties, l'empreinte et la contre-empreinte, plus ou moins bien réparties sur les deux faces (fig. 6). Cette étape est très délicate et les spécimens sont la plupart du temps fragmentés, surtout lorsqu'ils sont de grandes dimensions. Un travail de reconstitution des fossiles doit ensuite être effectué.

Pour cela, un mélange est coulé à chaud sur une plaque de pierre non fragmentée (1), puis les fragments de l'empreinte sont positionnés par-dessus (2) et ajustés à la bonne hauteur (3) (fig. 7).

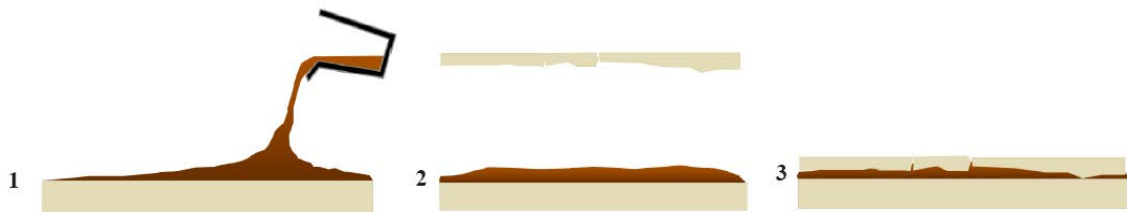


Fig. 7 : Étapes de reconstitution des plaques.

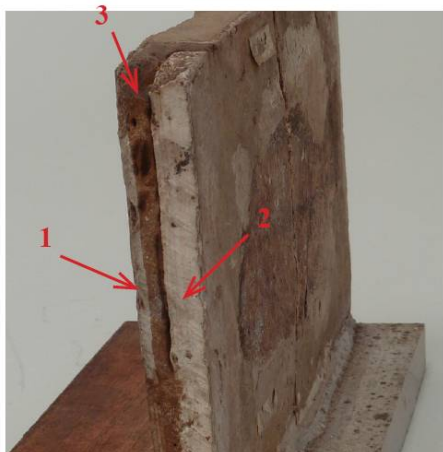


Fig. 8 : Tranche de l'une des plaques laissant apparaître la préparation des fossiles.

Les fossiles sont donc composés de deux plaques de pierre (fig. 8), les fragments fossilifères (1) et la plaque du revers (2) réunies par un mélange résineux (3). Les analyses effectuées par le CRCC sur ce mélange ont montré qu'il s'agit d'une résine diterpénique, de type sandaraque ou colophane. Des charges blanches ont été ajoutées. Une effervescence à l'acide chlorhydrique indique qu'il s'agit de carbonate de calcium. Le mélange est peu homogène et l'on observe des parties plus translucides, correspondant à de la résine non chargée, en particulier au revers des plaques, autour des cassures (fig. 9). Les bulles d'air et l'aspect de surface irrégulier sur certaines zones font penser à une application à chaud et un séchage plutôt rapide. Des particules de charbon de bois sont également visibles (fig. 10). Il s'agit probablement d'impuretés provenant du charbon de bois utilisé lors de la cuisson de la résine et qui se seraient retrouvées dans le mélange.

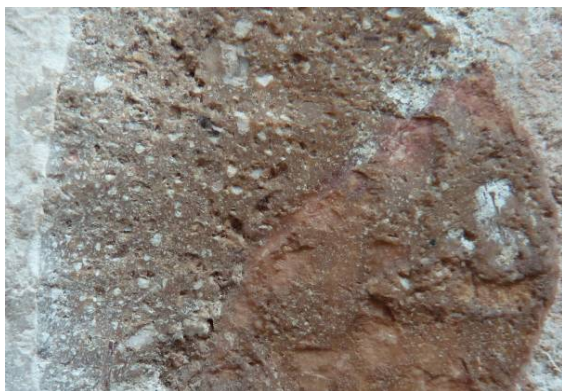


Fig. 9 : Détail de la résine au revers de l'un des spécimens montrant un mélange peu homogène.



Fig. 10 : Particules de charbon de bois sur la tranche de l'un des spécimens.

La seconde étape de la préparation consiste à dissimuler les cassures et la résine de réparation sous des bouchages. Deux types de bouchages ont été relevés : certains sont blancs et teintés en surface, d'autres sont teintés dans la masse et imitent les variations de la couleur de la pierre. Des analyses effectuées sur ces différents bouchages ont révélé la présence d'une huile siccative, de type huile de lin, mélangée avec une résine diterpénique, probablement la même que celle utilisée pour la reconstitution des plaques (fig. 11).

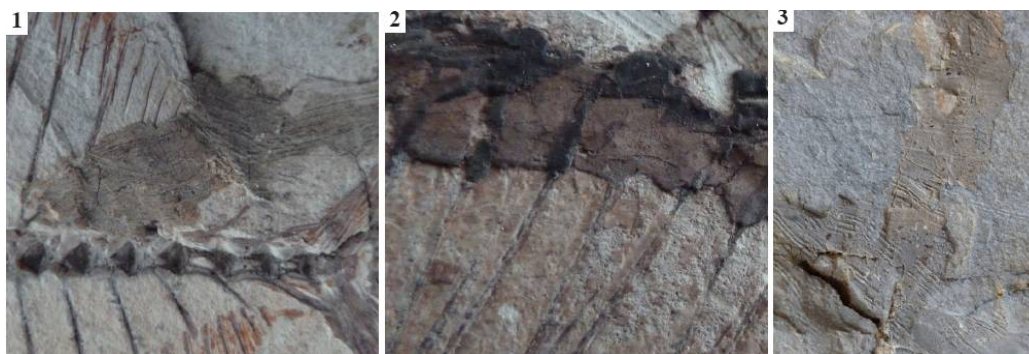


Fig. 11 : Exemples des différents bouchages relevés sur les plaques : blanc teinté en surface (1), et teinté dans la masse (2 et 3).

La dernière étape consiste à restituer certains éléments manquants du squelette au pinceau (fig. 12). Sur l'ensemble des spécimens étudiés, la peinture utilisée est similaire. Nous avons émis l'hypothèse qu'il pouvait s'agir d'un mélange de cire et de pigment, cependant, les analyses n'ont mis en évidence aucune trace de cire. Une recherche complémentaire est en cours pour déterminer la nature de cette peinture.

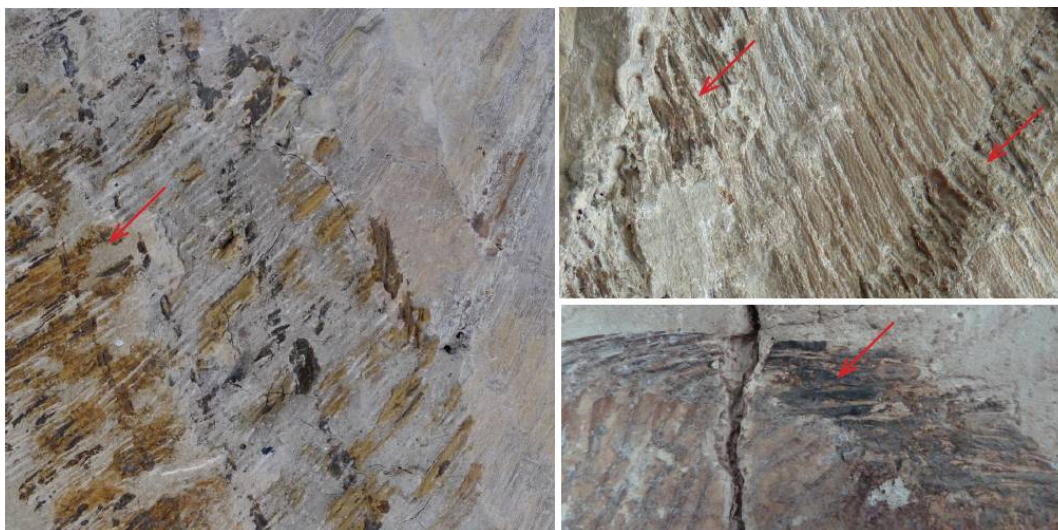


Fig. 12 : Exemples de restitutions au pinceau des éléments manquants du squelette.

2. 3. Interventions postérieures à la préparation des plaques

Contrairement aux spécimens conservés à Angers, très peu modifiés depuis leur préparation, de nombreuses interventions ont été effectuées sur l'empreinte et la contre-empreinte de Paris. La principale opération a été effectuée pour fixer certains fragments qui se seraient clivés de leur support : les fossiles ont été placés à l'intérieur de cadres métalliques, puis du plâtre a été coulé sur les lacunes et les fragments ont repositionnés par-dessus. Les cadres étant de trop grandes dimensions, une bordure en plâtre d'environ 4 cm a été ménagée autour des fossiles. Cette intervention n'a pas pu être précisément datée, mais pourrait avoir été effectuée au

début du XX^e siècle, car il semblerait que les fossiles aient été présentés ainsi depuis l'ouverture de la galerie de Paléontologie du Muséum national d'Histoire naturelle en 1898. Pour intégrer les parties en plâtre, une couche de peinture brun orangé a ensuite été appliquée autour des empreintes, sur les joints entre les fragments, sur la bordure et en débordant largement sur la pierre.

3. La conservation-restauration des collections d'Histoire naturelle

3.1. Remarques préliminaires

Les muséums conservent des collections diverses, souvent constituées de matériaux variés et en partie d'origine organique. Les pièces issues de ces collections peuvent être regroupées sous le terme de « biens culturels »⁴, largement employé par les organisations internationales œuvrant dans ce domaine.

Dans le domaine des Sciences de la Terre, le champ de la restauration n'est pas toujours bien délimité. Cette approche est assez nouvelle, et se développe grâce à la prise de conscience de la valeur patrimoniale attachée aujourd'hui aux collections d'Histoire naturelle. Les muséums, comme les musées d'art, « ont pour mission permanente de conserver, restaurer, étudier et enrichir leurs collections »⁵. Depuis quelques années, les muséums font appel à des professionnels de la conservation-restauration pour s'occuper de certaines pièces, mais cela reste encore une démarche assez peu répandue. Le plus souvent, les altérations sont traitées par des préparateurs. Ce sont des réparations effectuées en interne et généralement les interventions effectuées et les matériaux utilisés ne sont pas documentés. Cependant, même s'il s'agit de collections différentes, la conservation et la restauration d'un objet de sciences naturelles doivent répondre aux mêmes critères déontologiques que pour une œuvre d'art. La conservation « consiste principalement à intervenir sur le bien culturel dans le but d'en retarder l'altération »⁶. La restauration de biens culturels a pour principal objectif « d'en faciliter la lecture tout en respectant autant que possible leur intégrité esthétique, historique et physique »⁷. Tout comme dans le domaine de l'art, différents principes doivent être respectés : le principe d'intervention minimale⁸, de réversibilité et de compatibilité des matériaux⁹. La particularité la plus marquée de ce type de collection relève de la nécessité de conserver la possibilité d'études futures des matériaux constitutifs de l'objet.

3.2. Statut de l'objet

Le statut de l'objet, qui oriente parfois les choix de restauration, est d'une grande importance. Les pièces provenant des muséums ont souvent un statut complexe, entre supports d'études scientifiques, outils de diffusion au public, et pièces historiques. Les poissons fossiles de Monte Bolca, pour la plupart, appartiennent à des collections anciennes, accumulées par des propriétaires en tant qu'objets de prestige. Dès leur découverte au XVI^e siècle, ces fossiles ont

⁴ « Les objets auxquels une société attribue une valeur artistique, historique, documentaire, esthétique, scientifique ou religieuse particulière sont appelés communément « biens culturels » ; ils constituent un patrimoine matériel et culturel pour les générations à venir ». Définition issue du Préambule du code éthique d'E.C.C.O., 2003.

⁵ Article 2 de la loi du 4 janvier 2002 relative aux musées de France.

⁶ Définition issue du Préambule du code éthique d'E.C.C.O., 2003.

⁷ Définition issue du Préambule du code éthique d'E.C.C.O., 2003.

⁸ Article 8 du code éthique d'E.C.C.O., 2003 : « Le conservateur-restaurateur doit prendre en compte tous les aspects de la conservation préventive avant d'intervenir sur les biens culturels. Il doit limiter son intervention au strict nécessaire ».

⁹ Article 9 du code éthique d'E.C.C.O., 2003 : « Le Conservateur-restaurateur doit chercher à n'utiliser que des produits, matériaux et procédés qui, correspondant au niveau actuel des connaissances, ne nuisent pas aux biens culturels ni à l'environnement et aux personnes. L'intervention et les matériaux utilisés ne doivent pas compromettre, dans la mesure du possible, les examens, traitements et analyses futures. Ils doivent également être compatibles avec les matériaux constitutifs du bien culturel et être, si possible, facilement réversibles »

alimenté de nombreuses théories concernant l'histoire de la Terre, ce qui prouve qu'elles avaient déjà à l'époque une valeur scientifique, au-delà de leur intérêt esthétique. Plus tard, à partir du XIX^e siècle, avec le développement de l'ichtyologie, qui repose sur la description et la comparaison des spécimens, ces pièces ont acquis une dimension scientifique encore plus marquée. Désormais, de nombreuses études sur ce gisement étant été effectuées et les espèces ayant globalement été déterminées, leur réel intérêt scientifique reste à définir. Les types sont conservés au Muséum national d'Histoire naturelle, en exposition dans la galerie de Paléontologie, et dans les réserves visitées par les chercheurs s'intéressant à la série. L'empreinte et la contre-empreinte d'*Urolophus crassicaudatus* conservent un intérêt scientifique puisqu'il s'agit d'un type et qu'en raison de son mauvais état de conservation celui-ci a encore été peu étudié. En revanche, les spécimens cédés par le MNHN aux musées de province sont généralement jugés de qualité moindre, du moins du point de vue scientifique. On peut donc considérer que les échantillons conservés à Angers ont acquis un intérêt historique, qui pourrait avoir pris le pas sur la valeur scientifique. Concernant ces spécimens, la proposition de traitement doit prendre en compte ces deux aspects, mais en privilégiant l'aspect historique en cas d'incompatibilité.

3.3. Objectifs du travail de restauration

Deux problématiques différentes se sont présentées dans le cadre de ce mémoire. En accord avec le responsable de la collection des poissons fossiles d'Angers, nous avons opté pour un travail de restauration le moins interventionniste possible, les matériaux en présence étant dans un état stable et relativement peu altérés. L'objectif principal était de conserver tous les matériaux sur le long terme, et d'améliorer l'aspect global des pièces.

Contrairement aux spécimens d'Angers, tous les matériaux relevés sur les plaques de Paris ne datent pas de leur préparation au XVIII^e siècle, une partie a été ajoutée au MNHN au cours du XX^e siècle. On observe deux types d'interventions : une intervention structurelle consistant en un remontage de certains fragments et au positionnement d'un cadre métallique, probablement pour renforcer les pièces lors de leur positionnement à la verticale sur le palier de l'escalier monumental de la galerie de Paléontologie, et des interventions esthétiques (bouchages et badigeons). Si l'on considère le principe d'intervention minimale, tous les matériaux des ajouts devraient être conservés, car ils sont des témoins de l'histoire de ces fossiles dans les collections. Cependant, l'objectif de cette restauration était tout d'abord de stabiliser les pièces en retirant tous les éléments susceptibles de provoquer des dégradations. Les matériaux employés pour le remontage s'étaient altérés et pouvaient potentiellement poser des problèmes de conservation. Puisque tous les ajouts ne pouvaient être conservés, une seconde option a été envisagée, consistant au retour à l'état le plus ancien du fossile en tant qu'objet, c'est-à-dire à son état lors de sa préparation au XVIII^e siècle. En effet, les matériaux anciens sont dans un état stable et sont relativement peu altérés. Ils ne constituent pas des facteurs d'altérations pour les plaques et peuvent donc être intégralement conservés. De plus, la lisibilité des empreintes est perturbée par les interventions plus récentes (badigeons et bouchages grossiers), ce qui est gênant si l'on considère ces pièces comme des objets d'étude, ainsi que pour leur valeur muséographique. Un important travail de dérestauration (retrait des cadres métalliques et démontage des fragments, retrait des badigeons et bouchages) a donc dû être effectué sur l'empreinte et la contre-empreinte.

4. Traitement

4.1. Angers

Le travail sur les quatre spécimens conservés à Angers s'est limité à un léger nettoyage et au



retrait des socles, qui ne présentaient pas d'intérêt historique et qui posaient des problèmes de conservation en raison des matériaux utilisés. La restauration a permis de redonner aux plaques une meilleure lisibilité, en atténuant les contrastes gênants entre les bouchages et la pierre (fig.13).

Fig. 13 : Exemple de restauration des spécimens conservés à Angers : *Mene Rhombea* avant et après restauration.

4.2. Paris

• Retrait de la couche de peinture

Le travail de dérestauration effectué sur l'empreinte et la contre-empreinte a commencé par le retrait de la couche de peinture.

Les tests de solubilité ont révélé une légère sensibilité à l'eau, mais celle-ci n'est pas suffisamment efficace pour retirer facilement l'épaisse couche de peinture.

Différents mélanges de solvants ont donc été testés : le mélange isopropanol/ammoniaque/eau, à différentes concentrations, ainsi que d'autres mélanges



Fig. 14 : Couche de peinture à mi-retrait sur l'une des plaques.

parfois utilisés pour retirer ce genre de couches : le n-méthyl-1-pyrrolidone-2, du citrate de triammonium à différentes concentrations dans de l'eau déminéralisée, et le mélange eau/Deconex[®]. Ces tests ont révélé que le mélange le plus efficace est celui à base d'isopropanol (25 %), d'ammoniaque (25 %) et d'eau déminéralisée (50 %), qui agit à la fois par sa basicité et son caractère polaire. Pour faciliter le retrait du badigeon, différentes mises en œuvre ont ensuite été testées : avec un coton imbibé du mélange, avec une compresse, et sous forme de gel à base de méthylcellulose, de Klucel[®] G et de laponite. Ces tests ont révélé que la méthode la plus efficace est celle sous forme de gel. Celui à base de Klucel[®] G a finalement été retenu, car sa mise en œuvre et son retrait semblaient plus évidents. Ce dérivé de la cellulose a pour avantage de s'épaissir dans plusieurs solvants organiques polaires. Une faible proportion (environ 2 %) a suffi à épaissir suffisamment le mélange pour obtenir une bonne tenue du gel (la

surface étant plane, le gel n'avait pas besoin d'être trop visqueux). Une concentration supérieure compliquait l'application et le rinçage de la surface. L'opération a été effectuée par petites zones, en suivant les délimitations des fragments. Un film étirable a été déposé sur la surface traitée afin de limiter l'évaporation. Un temps de pose d'une vingtaine de minutes a permis un retrait satisfaisant de la couche de peinture. La surface a ensuite été rincée à l'eau déminéralisée.

Le retrait de la couche de peinture a permis de faire réapparaître les couleurs d'origine de la pierre, beige ou bleue selon les zones, ces variations étant produites au sein de la carrière par la circulation d'oxydes métalliques (fig. 14).

• Démontage

Ensuite, le démontage des cadres métalliques a été effectué mécaniquement, à l'aide d'un micromoteur. Des bouchages anciens, datant de la préparation des fossiles étaient encore en démontage a donc concerné uniquement les fragments qui avaient été remontés avec du plâtre ou ceux qui semblaient trop peu fixés au support. L'opération a été effectuée au micromoteur puis, lorsqu'il n'était plus possible d'accéder avec l'outil rotatif, à la main, à l'aide de petits ciseaux plats en usant le plâtre petit à petit, sans porter de coups pour éviter de créer de nouveaux clivages.

Le démontage des cadres a révélé un état de conservation inquiétant de la résine de préparation (fig. 15). Celle-ci est très altérée et est devenue cassante. Elle n'adhère plus à la pierre et ne joue plus son rôle de liaison des deux plaques. Les fragments qui n'ont pas été démontés menaçaient se détacher à leur tour. Il a donc fallu consolider l'ensemble pour assurer une bonne tenue des éléments.



Fig. 15: Altération de la résine : espace entre la pierre du revers et la couche de résine et fragmentation de la résine.

• Infiltrations

Le choix de l'adhésif a été principalement conditionné par la présence de la résine de préparation. Plusieurs solvants ont été testés, par ordre croissant de contribution polaire¹⁰ : white spirit à 18 % d'aromatiques (2,8), xylène (7,0), acétate d'amyle (20,0), acétate d'isobutyle (23,0), acétate d'éthyle (30,8), acétone (39,8), n-méthyl-1-pyrrolidone-2 (41,6), isopropanol (56,7), éthanol (64,0), méthanol (73,4), eau (91,7)¹¹. La résine est immédiatement sensible à l'éthanol dans lequel elle est totalement dissoute. Une réaction a également été observée avec tous les autres solvants testés, excepté le white spirit et l'eau. L'adhésif devait donc être véhiculé dans l'un ou dans l'autre pour assurer la réversibilité de l'opération. De plus, il devait posséder une viscosité basse à une concentration élevée afin de pénétrer en profondeur sous les fragments et permettre de combler les espaces entre les éclats de résine, les fragments et la plaque du revers.

Différents adhésifs ont été envisagés pour les infiltrations. Dans un premier temps, les résines acryliques, réputées pour leur grande stabilité, ont paru être les plus adaptées dans notre cas. Les Paraloid® de la série B sont très utilisés en restauration depuis des années et ont fait

¹⁰ Tous les solvants possèdent une énergie totale de liaisons (ET) exprimée en cal/cm³, regroupant l'énergie de liaison liée aux forces de dispersion (Ed), aux forces de polarité (Ep) et aux liaisons hydrogènes (Eh). Ces paramètres de solubilité permettent de classer les solvants (ET = Ed + Ep + Eh). La contribution polaire (Ep + Eh / ET) est exprimée en pourcentage. Lorsque Eh et Ep sont proche de zéro, le solvant est hydrophobe. Cours de Gilbert Delcroix sur les Solvants organiques, Tours, février 2010.

¹¹ *Conservatologie, Les solvants organiques, Monographie des solvants organique*, Polycoopié de Gilbert Delcroix, 2013.

l'objet de nombreuses études, ce qui permet d'obtenir un recul suffisant en ce qui concerne leur stabilité et leur vieillissement¹². Cependant, dans la gamme des Paraloid[®], seul le B 67 peut être solubilisé dans le white spirit¹³.

Il existe également des résines acryliques en dispersion aqueuse, comme le Primal[®] AC 33¹⁴, la résine Lascaux[®] 498 HV¹⁵, et le Plextol[®] B 500¹⁶.

D'autres adhésifs, solubles dans le white spirit et l'eau, ont également attiré notre attention, en particulier l'Aquazol[®] 500¹⁷, le Laropal[®] A 81¹⁸, ainsi que le Regalrez[®] 112 et la Regalite[®] R 1090¹⁹ qui sont utilisées pour des opérations de consolidation en raison de leur bas poids moléculaire²⁰.

Des tests ont été effectués sur des fragments de résine avec ces différents adhésifs. Ceux-ci ont révélé une solubilisation inexpliquée de la résine avec certains d'entre eux, pourtant mis en œuvre dans du white spirit (Regalrez[®], Regalite[®] et Laropal[®]). Ils ont donc été écartés. L'Aquazol[®] présente de bons résultats, mais la littérature concernant cet adhésif indique que celui-ci est susceptible d'être sensible à une trop forte humidité relative²¹, ce qui nous a amenés à écarter cet adhésif par prudence, au vu des relevés de température et d'hygrométrie de la galerie de Paléontologie. Les résines en dispersions aqueuses présentent pour avantage d'être très peu visqueuses, ce qui peut permettre une bonne diffusion sous les plaques, et de conserver une grande souplesse après séchage. Cependant, elles ne sont pas réversibles dans notre cas. Le Paraloid[®], bien que moins souple et légèrement plus visqueux que les solutions aqueuses, présente des résultats satisfaisants et reste réversible. La souplesse n'étant pas le principal critère étant donné la rigidité du matériau, cet adhésif semble être le plus adapté pour l'infiltration. Sa concentration a cependant été légèrement diminuée afin d'obtenir un mélange moins visqueux et permettre une meilleure diffusion.

Les infiltrations ont donc été réalisées avec du Paraloid[®] B 67 à 20 % dans du white spirit, injecté dans les fissures jusqu'à saturation avec des cathéters d'un diamètre adapté aux zones (1,10 mm à 1,30 mm). Les plaques ont été inclinées afin de permettre une meilleure diffusion de la résine par gravité. L'adhésif a été infiltré depuis le bord des plaques ainsi qu'entre les fragments lorsque nous disposions d'un espace suffisant. Le mélange étant peu visqueux, et la pierre peu poreuse, le liquide s'est facilement propagé sous les fragments. Les infiltrations ont été effectuées petit à petit, en inclinant les plaques en fonction des zones auxquelles nous souhaitions accéder et en laissant à l'adhésif le temps de prendre entre deux applications.

• Remontage

Une fois cette opération effectuée, nous avons pu entreprendre le remontage des fragments. La résine de préparation n'est plus conservée sous certains fragments, ceux-ci présentaient une différence de hauteur assez importante qui devait être compensée pour les ajuster à l'ensemble. Les résines thermodurcissables nous ont semblé être les plus adaptées pour cette opération. Elles présentent une bonne cohésion et une excellente résistance à l'humidité. Elles

¹² THORNTON, Jonathan, *Adhesives and adhesion*, Buffalo State College, 2005, p.12, consulté le 22 septembre 2012, http://preparation.paleo.amnh.org/assets/Thornton_adhesives_article.pdf.

¹³ Le Paraloid[®] B 67 est un poly-isobutylméthacrylate.

¹⁴ Le Primal[®] AC 33 est un copolymère d'éthylacrylate (60 %) et d'éthylméthacrylate (40 %).

¹⁵ La résine Lascaux[®] 498 HV est une dispersion à base de butylméthacrylate.

¹⁶ Le Plextol[®] B 500 est un copolymère d'acrylate d'éthyle (60%) et de méthacrylate de méthyle (40 %) dilué dans un mélange solvant + eau (49 % d'extraits secs et 51 % de solvant et d'eau).

¹⁷ L'Aquazol[®] est un polyamide tertiaire non ionique et amorphe (Poly(2-ethyl-2-oxazoline)).

¹⁸ Le Laropal[®] A 81 est une résine aldéhyde produite par condensation de l'urée et d'aldéhyde aliphatique.

¹⁹ Le Regalrez[®] et la Regalite[®] sont des résines aliphatiques.

²⁰ PIENA, Hans, « Regalrez in furniture conservation », *JAIC*, Vol. 40, n° 1, 2001, p. 59-68.

²¹ SAUTOIS, Alice, « La retouche des peintures acryliques en émulsion non vernies : Aquazol 200. Étude des capacités physiques, chimiques et optiques d'un liant. », *CeROArt*, 2012, consulté le 6 janvier 2013, <http://ceroart.revues.org/2708>, LECHUGA, Katherine, « Aquazol-Coated Remoistenable Mending Tissues », *Adhésifs et consolidants pour la conservation : Recherche et applications*, CCI, 17-21 octobre 2011, p. 1-13.

ont également pour avantage de ne pas subir de retrait ce qui a été un critère déterminant étant donné l'importance du volume à combler par endroits. Notre choix s'est porté sur une résine bicomposants chargée de type époxy, la Renpaste® SV 36 / Ren® HV 36.

Pour assurer une bonne réversibilité de l'opération, la Renpaste® n'a pas été directement appliquée sur la pierre. Du film étirable a été positionné sur la plaque du revers, puis la Renpaste® a été appliquée à la main. Les fragments, également protégés par du film étirable, ont ensuite été positionnés, ajustés à la bonne hauteur, et laissés en place jusqu'au durcissement de la semelle (environ 12h). Ils ont ensuite été détachés et le film plastique retiré (fig. 16).



Fig. 16 : Étapes de réalisation des semelles : mise en place du film plastique (1), positionnement des fragments sur la résine auparavant appliquée sur la plaque du revers (2), semelle après retrait des fragments (3).

Nous avons ensuite pu entreprendre le remontage (fig.17). Le mélange de Paraloid® B 72 et B 44 a semblé adapté pour le positionnement des semelles sur la pierre du revers. Le Paraloid® B 72²² est l'une des résines synthétiques les plus stables chimiquement. Elle présente une grande résistance et n'est pas sensible à l'humidité. Cependant, sa température de transition vitreuse peu élevée (40 °C) peut entraîner un phénomène de fluage à température ambiante. Les propriétés du Paraloid® B 44²³ sont assez proches de celles du B 72, mais sa dureté est supérieure aux autres Paraloid® de la gamme B. Il présente cependant pour avantage d'avoir une température de transition vitreuse élevée (60 °C). Le mélange à parts égales de ces deux résines offre toutes les propriétés requises pour le collage de la pierre²⁴.

Ces résines sont très solubles dans l'acétone et l'acétate d'éthyle. Cependant, ces solvants sont très volatils²⁵ ce qui ne favorise pas un bon étalement et implique un temps de travail trop réduit par rapport à l'importance de la surface à coller. Un séchage trop rapide risquerait également de provoquer des contraintes internes au sein du film lors de l'évaporation. Le paraxylène, qui est également un bon solvant du Paraloid® et qui fait partie de la classe des solvants moyens²⁶ a donc été préféré. Le mélange a été effectué à une concentration de 40 % d'extraits secs. En raison de la toxicité de ce solvant²⁷, ces collages ont été effectués sous hotte aspirante et avec un masque à solvant.

Nous n'avons pas pu utiliser ce mélange d'adhésifs pour le collage des fragments, en raison de la présence de résine de préparation sous certains d'entre eux. Les adhésifs envisagés pour les infiltrations ont été de nouveau testés sur des plaquettes de calcaire pour tenter d'évaluer leur résistance mécanique dans notre situation. Dans un premier temps, nous avons calculé la contrainte maximum qui sera appliquée aux fragments après collage. Puis, des échantillons

²² Le Paraloid® B 72 est un copolymère d'éthylméthacrylate (70 %) et de méthylacrylate (30 %).

²³ Le Paraloid® B 44 est un copolymère de polyméthylméthacrylate (57 %) et de polyéthylacrylate (43 %).

²⁴ On obtient une T_v plus élevée (49,7 °C), une tension superficielle (γ) de 400 dynes/cm, une polarité moyenne ($C_p = 29$) ce qui le rend compatible avec la pierre.

²⁵ La notion de volatilité est liée au point d'ébullition des solvants (acétone = 56,1 °C, acétate d'éthyle = 77 °C). Ceux-ci sont classés en trois groupes : les solvants légers possèdent un point d'ébullition < 100 °C, les solvants moyens un point d'ébullition < 150 °C et les solvants lourds un point d'ébullition > 150 °C. L'évaporation du solvant dépend également de la chaleur latente de vaporisation et de la pression de vapeur saturante. La vitesse d'évaporation peut être mesurée en fonction du n butylacétate (car il est facile à obtenir à l'état chimique pur). ce taux est de 3,5 pour l'acétate d'éthyle et de 5,6 pour l'acétone, DELCROIX, DELCROIX, Gilbert, HAVEL, Marc, *Phénomènes physiques et peinture artistique*, Puteaux, Erec, 1988, p. 97-99.

²⁶ Point d'ébullition du paraxylène = 138,3 °C, MASSCHELEIN-KLEINER, Liliane, *Les solvants*, Cours de conservation, 2, Bruxelles, IRPA, 1994.

²⁷ La Concentration maximale admise est de 50 ppm.

ont été réalisés en collant deux plaquettes de pierre calcaire avec les différents adhésifs. Les échantillons ont été fixés sur le bord d'une table et des poids ont été suspendus à un fil glissé au-dessus de la partie dépassant de la table afin de soumettre le joint de colle à une contrainte de cisaillement. Des poids ont ensuite été ajoutés jusqu'à rupture pour tester la résistance de chacun des adhésifs. Les collages effectués avec la résine acrylique Lascaux[®] 498 HV et l'Aquazol[®] 500 sont très résistants, mais ces adhésifs ne sont pas adaptés dans notre cas (respectivement non réversible et trop sensible à l'humidité). Le Paraloid[®] B 67, qui présentait également une très bonne résistance a finalement été retenu. Il a été utilisé en solution à 40 % dans du white spirit.

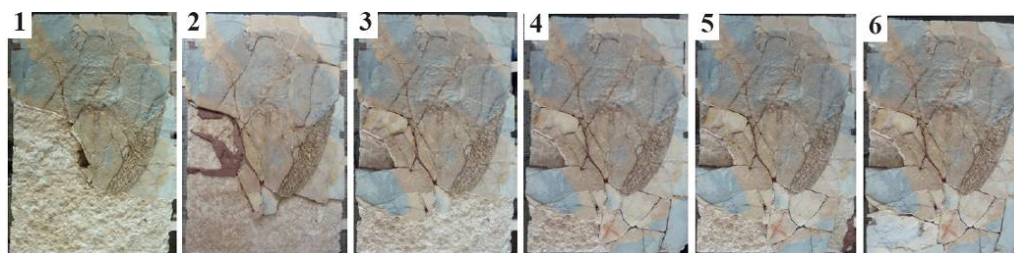


Fig. 17 : Étapes de remontage sur l'un des fossiles : avant (1), collage des semelles (2), remontage des fragments (3 à 5), après remontage (6).

• Bouchages

Des bouchages devaient ensuite être effectués, afin d'assurer une meilleure solidité de l'ensemble et pour dissimuler les joints. Dans un premier temps, nous avons testé le Paraloid[®] B 67 avec différentes charges (microballons phénoliques, poudre de pierre et microbilles de verre). Cet adhésif présentant une bonne souplesse, en particulier avec les microballons phénoliques, nous avons décidé de l'utiliser pour combler les espaces entre les fragments. En effet, ce type de bouchages n'a pas uniquement un but esthétique, mais permet également de renforcer les collages et a donc un rôle structurel. L'emploi du Paraloid[®] permet de répondre à cette attente. Enfin, puisque cet adhésif sera également utilisé pour certains collages et pour la consolidation, cela permettrait de limiter les produits de restauration mis en œuvre, ce qui est préférable. Cependant, l'ajout de microballons phénoliques confère aux bouchages une teinte sombre et difficile à retoucher. La couleur obtenue avec la poudre de pierre calcaire est plus satisfaisante. L'ajout de blanc de titane a permis d'éclaircir la teinte et d'obtenir un résultat assez proche de l'aspect du calcaire de Monte Bolca. Cette charge pourrait être utilisée sur les parties apparentes, par-dessus les microballons phénoliques, afin de simplifier le travail de retouche (fig. 20). Pour permettre l'application du produit de bouchage, qui ne peut être utilisé en épaisseur, les importantes lacunes ont été comblées avec la Renpaste[®] SV 36, en utilisant le même système que pour la confection des semelles, et en conservant un léger retrait. Ces éléments ont ensuite été collés avec du Paraloid[®] B 67 à 40 % dans du white spirit. Puis les bouchages des espaces subsistants ont également été réalisés légèrement en retrait avec du Paraloid[®] B 67 à 40 % dans du white spirit, chargé avec des microballons phénoliques. Une dernière couche très fine, cette fois chargée avec de la poudre de pierre calcaire tamisée et additionnée de pigments afin d'obtenir une teinte la plus proche possible de celle de la roche a été appliquée sur ces comblements (fig. 18).



Fig. 18 : Exemple de bouchages réalisés entre les fragments avec du Paraloid[®] B 67 chargé avec des microballons phénoliques (1), puis chargé avec de la poudre de pierre (2).

• Retouches

La couleur de la dernière couche, chargée avec de la poudre de pierre additionnée de pigments était assez proche de celle de la pierre, mais des retouches étaient nécessaires pour obtenir une meilleure intégration des bouchages et les rendre plus discrets. Différents tests ont été effectués, avec des pigments liés avec du Paraloid® B72 à 5 % dans de l'acétate d'éthyle, ainsi qu'avec des peintures à liant acrylique (Liquitex®). Ces deux produits donnent des résultats satisfaisants, mais il est plus aisé d'effectuer des retouches très diluées avec le Paraloid® qu'avec les Liquitex®. Nous avons donc finalement opté pour les pigments liés avec du Paraloid®, permettant d'obtenir une couche translucide et faiblement pigmentée (fig. 19).



Fig. 19 : Détail d'un bouchage sur l'une des plaques, avant et après retouches.

• Présentation

Dans un premier temps, nous avons proposé au Muséum de présenter les plaques sans repositionner les cadres métalliques, ce qui nous semblait plus proche de la présentation



Fig. 20: Empreinte et contre empreinte après bouchages et retouches.

d'origine des fossiles (fig. 20). Cependant, dans un souci d'uniformité de la collection, mais également en raison de contraintes techniques au sein du Muséum, cette option n'a finalement pas été retenue. Nous avons donc dû repositionner les cadres autour des plaques. Les cadres ont été découpés afin de retirer l'épaisse couche de peinture qui les recouvrait, puis un traitement de passivation a été effectué, et une peinture anticorrosion a été appliquée à l'extérieur des cadres.

Pour le remontage, des plaques de nid d'abeille ont été fixées au fond des cadres avec une résine époxy, l'araldite® AY 103 avec le durcisseur HY 956. Les fossiles ont ensuite été déposés sur les supports en nid d'abeille, et ajustés à la bonne hauteur à l'aide des sifflets. Des plots ont été réalisés avec cette même résine, chargée avec de la silice micronisée. Les bordures ont ensuite été comblées avec de la Rempaste®, puis une couche de finition, retouchée à l'aérographe, a été appliquée en surface (fig. 21).



Fig. 21 : Étapes de remontage du cadre sur l'une des plaques: positionnement du fossile sur le nid d'abeille dans le cadre (1), comblement des bordures (2), Couche de finition et retouches sur les bordures (3).

Conclusion

Ce sujet de diplôme s'est avéré particulièrement intéressant, en raison de l'importance scientifique du gisement, par la richesse de l'aspect historique entourant les fossiles de la collection Gazola, et pour le travail de restauration varié que j'ai été amenée à effectuer sur ces fossiles. Les pièces qui nous ont été confiées dans le cadre de ce mémoire se sont révélées complémentaires ce qui a donné lieu à une vision plus large des fossiles de Monte Bolca et de leur préparation. La connaissance de ces matériaux s'est avérée indispensable pour nos choix de restauration, et pourra également être très utile pour la conservation du reste de la collection. Les spécimens provenant d'Angers sont très bien conservés, malgré l'ancienneté des matériaux. L'état de conservation plus préoccupant de l'empreinte et de la contre-empreinte provenant du Muséum national d'Histoire naturelle semble indiquer que la résine de préparation ne serait peut-être pas totalement adaptée pour les spécimens de grande taille, soit parce qu'elle ne peut supporter un poids trop important, soit parce que son application aurait été moins maîtrisée sur de grandes surfaces. Ce type de fossiles serait donc particulièrement à surveiller dans les collections.

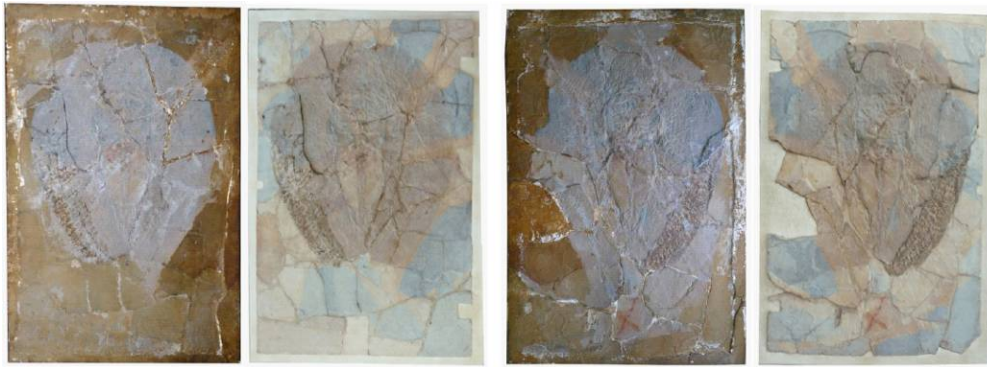


Fig. 22 :
Empreinte et
contre-empreinte
avant et après
restauration.

Bibliographie :

AGASSIZ, Louis, *Revue critique des Poissons fossiles figurés dans l'Ittiolitologia Veronese*, Neuchâtel, Petitpierre et Prince, 1835.

BLOT, Jacques, *Les poissons fossiles du Monte Bolca : classés jusqu'ici dans les familles des Carangidae, Menidae, Ehippidae*, Vérone, Museo Civico di Storia Naturale, 1969.

BLOT, Jacques, « La faune ichtyologique des gisements du Monte Bolca (Province de Vérone, Italie). Catalogue systématique présentant l'état actuel des recherches concernant cette faune », *Bulletin du Museum national d'Histoire naturelle*, 2, sect. C, n° 4, Paris, 1980, p. 339-396.

BOSETTI, Elisabetta, « A comparative Study of the use of Aquazol in Paintings Conservation », *e-conservation magazine*, n° 24, p. 72-87, consulté le 08 janvier 2012, <http://www.e-conservationonline.com/content/view/1073>.

DE LA BAUME, Sylvia, « Les matériaux organiques », *La conservation en archéologie*, Paris, Masson, 1990, p. 222-270.

DELCROIX, DELCROIX, Gilbert, HAVEL, Marc, *Phénomènes physiques et peinture artistique*, Puteaux, Erec, 1988.

DEMAY, Louis J., *Patrimoine et restauration, Approche d'une éthique de restauration des collections de sciences naturelles*, 1991, [http://doc.ocim.fr/LO/LO016/LO16\(3\)-.PDF](http://doc.ocim.fr/LO/LO016/LO16(3)-.PDF), consulté le 08 mai 2012.

GAUDANT, Jean, « Brève histoire de la collection Gazola de poissons fossiles éocènes du Monte Bolca (Italie) conservée au Muséum national d'Histoire naturelle », *Geodiversitas*, n° 33, Paris, 2011, p. 637-647, consulté le 11 janvier 2012, http://www.mnhn.fr/museum/front/medias/publication/40173_g2011n4a5.pdf.

HOWIE, Francis M. P., « Les matériaux utilisés dans la conservation des spécimens fossiles depuis 1930 », *Adhésifs et consolidants*, actes du X^e congrès international, Paris, Institut international de conservation des œuvres historiques et artistiques, 2-7 septembre 1984, Champs-sur-Marne, SFIIC, p. 108-110.

KEENE, Suzanne, « Some adhesives and consolidants used in conservation », *The geological curator*, Vol. 4 n° 7, 1986, p. 421-425.

LECHUGA, Katherine, « Aquazol-Coated Remoistenable Mending Tissues », *Adhésifs et consolidants pour la conservation : Recherche et applications*, CCI, 17-21 octobre 2011, p. 1-13.

MASSCHELEIN-KLEINER, Liliane, *Liants, vernis et adhésifs anciens*, Cours de conservation, 1, Bruxelles, IRPA, 3^e édition, 1992.

MASSCHELEIN-KLEINER, Liliane, *Les solvants*, Cours de conservation, 2, Bruxelles, IRPA, 1994.

PIENA, Hans, « Regalrez in furniture conservation », *JAIC*, Vol. 40, n° 1, 2001, p. 59-68.

RIXON, Arthur E, *Fossil animal remains: their preparation and conservation*, Londres, Athlone Press, 1976.

²

SAUTOIS, Alice, « La retouche des peintures acryliques en émulsion non vernies : Aquazol 200. Étude des capacités physiques, chimiques et optiques d'un liant. », *CeROArt*, 2012, consulté le 6 janvier 2013, <http://ceroart.revues.org/2708>.

SHELTON, Sally, « Conservation of vertebrate paleontology collections », *Vertebrate paleontological techniques*, Cambridge, Cambridge University Press, 1994, p. 3-33.

SORBINI, Lorenzo, *La collezione baja di pesci e piante fossili de Bolca*, Vérone, Museo civico di storia naturale, 1983.

SORBINI, Lorenzo, *I fossili di Bolca*, Vérone, Museo Civico di storia naturale, 1985.

SORBINI, Lorenzo, *600 fossili per Napoleone*, Vérone, Museo Civico di storia naturale, 1997.

THORNTON, Jonathan, *Adhesives and adhesion*, Buffalo State College, 2005, p.12, consulté le 22 septembre 2012, http://preparation.paleo.amnh.org/assets/Thornton_adhesives_article.pdf.

KLUG
CONSERVATION



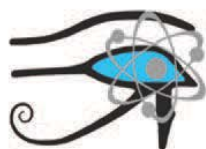
Conserver des valeurs *pour les générations futures*

Depuis plus de 140 ans, KLUG-CONSERVATION développe des solutions de conditionnement, sur mesure, pour la conservation de biens patrimoniaux dans les archives, les musées et les bibliothèques.

Demandez notre catalogue. Notre gamme complète est également consultable sur notre site internet.



KLUG-CONSERVATION
Bureau de liaison en France
1, rue Edouard de Rothschild
77164 Ferrières-en-Brie
Tél. 01.64.66.21.05
www.klug-conservation.fr



Re.S.Artes

Le Regard de la Science sur les Arts et le patrimoine culturel

Imagerie scientifique
numérique et mobile
UV, IR, RX



Analyse de matériaux
supports et polychromies
MEB, IRTF, ...



Pour plus d'informations :
www.res-artes.com
info@res-artes.com
+33 (0)5 56 81 64 42
84 rue du tondu - Bordeaux

Caractérisation d'altérations
champignons, bactéries, sels solubles
ADN, chromatographie ionique

NETTOYAGE DE MATERIAUX POREUX INORGANIQUES

PAR GELS POLYSACCHARIDES :

POSSIBILITES ET LIMITES

Alicia DE LERA

1. Introduction

Les gels, créés et utilisés par l'industrie pharmaceutique et alimentaire, ont été adaptés à la restauration d'œuvres d'art à partir des années 80. Les plus utilisés sont les dérivés cellulosiques, le carbopol et depuis le début du XXIème siècle, les gels rigides d'agar-agar ou de gellan gum. Ceux-ci sont idéaux pour certains types de nettoyages, en particulier dans le domaine du textile et des arts graphiques et pour réduire la toxicité de certains traitements car les gels sont capables de retenir et absorber solvants et tensioactifs. De plus, la structure physique plus ou moins rigide ou visqueuse de ces différents gels, leur confère la capacité de laisser diffuser, dans les œuvres à traiter, des quantités d'eau contrôlées et ceci de façon très localisée. Les gels sont aussi utilisés pour la consolidation ^{[1][2]} et les doublages des papiers affaiblis.

Les possibilités de nettoyer des matériaux poreux inorganiques avec un gel d'agar-agar ont récemment fait l'objet de recherches en Italie ^{[3][4]}, moyennant quelques astuces de mises en œuvre. Mais, les gels ne sont pas volatils et une fois déshydratés, ils constituent un matériau solide. Ils peuvent par conséquent laisser des résidus avec en corollaire apparition d'un risque de développement de micro-organismes susceptibles de dégrader l'œuvre restaurée. Ce risque est surtout potentiellement préoccupant pour les gels polysaccharides et l'agar-agar en particulier. Jusqu'à présent aucune étude n'a été menée sur cette thématique. C'est la raison pour laquelle nous avons souhaité mener une recherche sur la contamination microbiologique de matériaux poreux inorganiques nettoyés par gel d'agar-agar.

Après avoir optimisé les conditions d'application du gel, nous avons étudié l'efficacité du gel d'agar-agar pour le nettoyage d'éprouvettes de plâtre, de pierre microporeuse et de brique macroporeuse, artificiellement traités pour mimer un encrassement typique d'un environnement intérieur. Les effets du gel d'agar-agar ont été ensuite comparés avec ceux de systèmes de nettoyage plus courants en restauration de la pierre, le microsablage et le laser. Dans un deuxième temps, nous avons évalué les risques de contamination microbiologique des surfaces nettoyées, à l'agar-agar, par comparaison avec les gels de Klucel, de HEC, de Carbogel, de gomme Xanthane et de Gellan gum.

Nous aborderons dans cet écrit, la première partie de notre recherche au LRMH où nous avons développé le protocole d'application du gel d'agar sur des matériaux poreux inorganiques et nous observerons le résultat de l'incubation dans une étuve pendant quelques semaines, d'un échantillon de brique.

2. Étude bibliographique

Un gel (du latin *gelu*-froid ou *gelatus*- immobile) est un système colloïdal où la phase continue est solide et la phase dispersée est liquide ^[5]. Les gels présentent une densité similaire à celle des liquides, cependant leur structure est plus semblable à celle d'un solide. Certains gels possèdent la capacité de passer d'un état colloïdal à un autre, c'est-à-dire qu'ils

restent fluides quand ils sont agités et ils se solidifient quand ils restent immobiles. Cette caractéristique se dénomme thixotropie. Le processus de formation des gels s'appelle gélation.

Ils sont surtout utilisés en restauration et conservation d'œuvres d'art pour les nettoyages superficiels de différents supports. Ils servent à gélifier et à réduire ainsi la diffusion des solvants dans les supports des œuvres d'art, mais il y a d'autres avantages ^[6] comme :

- Amélioration du contact avec la surface de l'œuvre
- Possibilité de prolonger le temps d'action du traitement
- Réduction de l'apport d'eau ou de solvant
- Limitation et réduction de la diffusion des solvants dans l'œuvre. Leur action est plus localisée.
- Réduction de la polarité des « solvant-gel »
- Ils sont assez économiques et faciles à trouver
- Leur aspect transparent
- Bonne durabilité des gels après la préparation. Nous pouvons les utiliser pendant plusieurs jours.

Inconvénients :

Les gels ne sont pas volatiles, une fois déshydratés, ils constituent un matériau solide et donc ils peuvent rester sur l'œuvre sous forme de résidu. Ceci implique qu'il est souvent nécessaire de réaliser un post-traitement comme par exemple un rinçage aqueux ou un lavage avec des solvants adéquats. Et donc, ils peuvent être incompatibles avec certaines œuvres d'art sensibles à l'eau.

Il est évident que la polarité de ces solvants de lavage doit être calibrée avec exactitude : Ils doivent dissoudre les résidus solides, sans avoir un effet de solvant direct sur le matériau traité.

Avant d'utiliser un gel, nous devons évaluer les avantages et inconvénients de l'application sur une surface. Il existe plusieurs types de gels, avec différentes caractéristiques qui permettent de choisir le plus adéquat en fonction du travail qu'il faut réaliser et du support. Les plus utilisés en restauration sont le carbopol, le culminal, les éthers de cellulose ^[7], et les gels rigides.

Nous nous sommes intéressés surtout à l'agar, l'agarose et le gellan gum car ils forment des gels dits « rigides », c'est-à-dire qu'ils sont capables de former une couche uniforme non adhérente. Ils sont faciles à fabriquer et apparemment ils laissent peu de résidus.

Les gels rigides

Les gels « rigides » ^{[8][9]} sont ceux dont la consistance est suffisamment ferme pour permettre de les découper et les manipuler. Généralement, ils sont employés en blocs parallélépipédiques d'épaisseur variable (à partir de 1 cm). Ils sont capables de gélifier en formant des structures plus ou moins solides et qui retiennent l'eau (ou solution) en évitant sa diffusion trop rapide sur la surface d'une œuvre d'art. Leur structure rigide est due aux longues chaînes polymériques de nature hydrophile.

Il existe différents types de composants capables de former des hydrogels, comme par exemple, l'agar-agar, l'agarose ou la gomme gellan.

2.1. Agar

L'agar est extrait des algues rouges *Rhodophyceae* (*Gelidium* ou *Gracilaria*)^[10] et est un polysaccharide composé d'agarose^[11] $[C_{12}H_{14}O_5(OH)_4]_n$ et d' agaropectine, avec des chaînes de 1,3-β-D-galactopyranose et 1,4-3,6 anhydro-α-L- galactopyranose^[12]. Il a la capacité de gélifier à une concentration très faible (1%) et à température ambiante ou inférieure. Les propriétés physiques, chimiques, mécaniques et rhéologiques de l'agar varient en fonction de l'algue utilisée pour son extraction. Il forme un gel thermoréversible et stable dans une solution aqueuse. Ce gel présente une porosité par laquelle les solutions sont susceptibles de migrer vers le matériau où il est appliqué.

Sa fabrication est très importante au niveau physique, c'est-à dire que la durée et le type de réchauffement ainsi que la pression appliquée et s'il est préparé dans un récipient fermé ou non, donneront un gel avec des caractéristiques différentes.

Selon la bibliographie^[13], quand les gels d'agar sont mélangés à haute vitesse, la densité et la quantité des bulles d'air varie. Pour certains auteurs, un mélange à forte agitation fait disparaître de nombreuses bulles d'air, d'autres affirment que ces résultats ne sont valables que pour les gels d'agar à 1% et que ceux non agités contiennent moins de bulles ainsi que moins d'air. À l'échelle macroscopique, la porosité réduit la résistance mécanique du gel. De plus, il est supposé que cette vitesse de mélange forme plus de supra hélices et donc, un gel plus solide et plus élastique. Pour ceux qui sont refroidis lentement, ils ont en moyenne des pores de diamètre plus important et donc des structures plus ouvertes.

L'application de gels rigides comme l'agar dans la restauration d'œuvres d'art commença au début de ce siècle avec les études de Wolbers^[14] et ensuite celles de Campani^[15].

Le gel d'agar-agar est capable de solubiliser un matériau à l'aide d'une faible quantité de solvant et ce en l'empêchant de créer des auréoles. Il permet le contrôle de l'évaporation des solvants et apparemment, il ne laisse pas trop de résidus sur la surface ou dans les pores^[16] des matériaux.

2.2 Agarose

L'agarose fut identifié en 1956 par Choji Araki. C'est un polysaccharide de galactose ou un copolymère de 1,3-β-D-galactopyranose et 1,4-3,6-anhydro-α-L-galactopyranose^[11].

L'agarose se sépare de l'agar (ou agar-agar), extraite des algues rouges. Il forme de gels assez transparents et clairs à partir d'une concentration de 0,3 % (agarose/solvant : poids/volume). Il est insoluble dans de l'eau froide et doit être préparé en le chauffant à 90 °C au bain marie. Quand il se refroidit, il forme une structure tridimensionnelle avec les pores. C'est un gel non ionique qui peut être préparé avec de l'eau distillée et utilisé à un pH entre 4,5 et 10. Il est compatible avec des solutions de calcium ou hydroxyde d'ammonium^[12], mais également avec d'autres produits comme des antioxydants. Cependant, ces gels, une fois rigidifiés, ne sont pas très résistants, ni élastiques et ils sont couteux. De plus, leur synérèse (capacité à décharger de l'eau dans une surface) est plus rapide que celle de l'agar. Donc pour certains traitements de nettoyage, il est plus adéquat d'utiliser l'agar. Par contre, il est recommandé pour le nettoyage du papier, car il ne fait pas varier sa couleur après vieillissement^[12]. Ainsi, il peut être utilisé seul ou avec d'autres produits comme des enzymes, produits pour blanchir, etc.

2.3. Gellam Gum

Ce gel est un polysaccharide de masse molaire élevée, obtenu par fermentation d'un carbohydrate (glucose) grâce aux *Sphingomonas elodea*, purifié avec de l'alcool isopropylique. Ce biopolymère est constitué par 60 % de (1,3)- β -D-glucose (D-Glc), 20 % (1,4)- α -L-rhamnose (L-Rha) et (1,4)- β -D-acide glucurinique. Le gellam gum forme de différents types de gel selon le contenu en acyles ^[17]. Les propriétés rhéologiques de cet hydrogel fait qu'il est capable de former de gels « rigides » transparents, homogènes et très stables aux variations de température et de pH, avec un degré de viscoélasticité élevé ^{[9][18]}. Ses longues chaînes polymériques de nature hydrophile retiennent et bloquent les molécules d'eau libre en réduisant leur diffusion. Il gélifie à partir d'une concentration très basse (1 %) avec de l'eau minérale (en bouteille) ou du robinet. Il est préparé en le chauffant jusqu'à 100 °C au bain marie ou au micro-onde ^[19] et gélifie entre 40 et 30 °C.

Le processus de gélation se produit en deux phases. La première, quand les chaînes simples sont désordonnées dans de l'eau chaude et la deuxième quand les doubles hélices génèrent des structures ordonnées et stables en présence de cations, comme le Ca^{++} . Il est possible de rajouter une solution saline d'acétate de calcium, $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ (0,4 g/l) ^[20] ou de bicarbonate de calcium ^[21] $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, pour apporter les ions Ca^{++} nécessaires pour stabiliser la structure du gel.

Ce type de gel est utilisé en biomédecine, en pharmacie ainsi qu'en industrie et depuis une décennie, en restauration d'œuvres d'art. Appliqué directement sur les œuvres en papier, il permet d'absorber les produits de dégradation émis par le papier, grâce à un processus d'osmose ^[19]. Le pH de l'œuvre ne varie pas après le traitement. La structure de ce gel permet le transfert des molécules d'eau de manière graduelle et contrôlée ; il est également capable d'absorber des substances hydrosolubles de dégradation ^[20]. Il peut également se mélanger avec d'autres produits (antioxydants, enzymes...) ce qui permet de l'utiliser pour d'autres traitements, comme par exemple, la désacidification avec du propionate de calcium $\text{Ca}(\text{C}_2\text{H}_5\text{COO})_2$ (3,5-5 g/l), le blanchiment grâce à des réducteurs ^[21] comme le tert-butylamine-borane $(\text{CH}_3)_3\text{CNH}_2.\text{BH}_3$ (7 g/l) ou séparer différents strates ou produits de la surface de l'œuvre.

3. Matériel et méthodes

3.1. Matériels

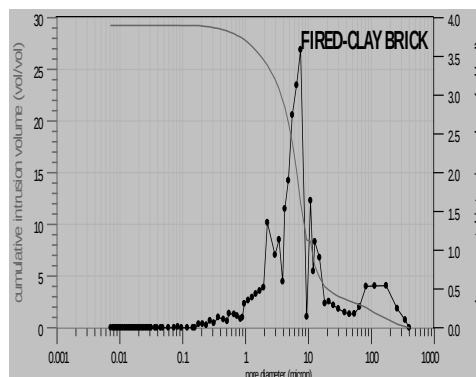
- **Agar** bactériologique de Fisher Scientific, Fisherbrand, W2801W 500G
- **Brique néerlandaise**

Un des substrats utilisés pour nos tests est une brique néerlandaise. Elle a été choisie pour nos tests avec l'agar pour sa porosité ouverte élevée et ses pores de grande taille. Par conséquent, elle constitue un bon substrat pour tester la propension d'un gel à laisser des résidus lorsque nous tentons de l'éliminer.

Ces briques présentent une distribution porale monomodale et ont une porosité accessible à l'eau sous vide assez élevée (35,5%). Leurs caractéristiques sont reportées dans le [Tableau 1] ^[22] ci-après et le [Graphique 1]

Nom	« Fired clay Brick »
Dimension, (L x l x h) (cm ³)	10 x 5x 10
N48 Porosité à 48h (%) :	33,5
Nt (MIP) Porosité (%) :	29,3
B (Vitesse unidirectionnelle de progression de la frange humide) cm/h ^{0,5}	8
W (Coefficient d'absorption capillaire) (kg/m ² .h ^{0,5})	20
Diamètre moyen des pores (µm)	7

Tableau 1. Caractéristiques des briques utilisées comme substrat pour l'étude



Graphique 1. Porosimétrie des briques.

- **Microscopes binoculaire**

Avec les microscopes binoculaires nous avons réalisé différentes photographies de la surface des échantillons de pierre ou de plâtre après les applications des gels d'agar. Nous avons pu vérifier s'il y avait ou non des résidus de ceux-ci sur les surfaces étudiées. De plus, ces microscopes nous ont servi pour mesurer les aires des gouttes de gel dans les essais destinés à connaître le point de gélification du gel d'agar. Les microscopes utilisés sont :

- Leica MZ16 avec lumière SCHOTT KL 1500 LCD.
- Microscope binoculaire Leica Wild M10 avec lumière Schott KL 2500 Led.

- **Le chauffe-eau, Bain-marie**

Le Bain-marie utilisé pour préparer nos gel d'agar est de la marque Memmert basic modèle Bain-marie WNB 7-45 à une température de 90 °C

- **Etuve Binder BD 115**

Nous avons employé ce type d'étuve pour nos tests de microbiologie. Cette étuve maintient une température constante pour la croissance de micro-organismes.

3.2. Méthodes

Optimisation des conditions d'application du gel : Température et pourcentage de gélification du gel agar-agar sur les pierres

3.2.1. Essais pour connaître la température d'application du gel agar-agar.

Notre recherche sur l'application de gels en restauration d'œuvres d'art a commencé par l'étude de la température de gélification du gel d'agar.

Pour ceci, nous avons mis en place un système de mesure qui consiste à laisser tomber une goutte de gel à différentes températures, à l'aide d'une micropipette, sur une feuille plastique transparente. Ensuite, nous avons pu mesurer l'aire de chaque goutte à l'aide du logiciel

archimed de traitement d'image associé à la caméra vidéo équipant le microscope binoculaire Leica MZ16.

Nous avons préparé plusieurs gels à différentes concentrations pour savoir si la concentration en agar influe sur la température de gélification. Ensuite, nous avons laissé tomber des gouttes de gel à différentes températures : de 45 °C (car la littérature dit que c'est une des températures d'application du gel ^[15]) jusqu'à 34 °C, à l'aide d'une micropipette.

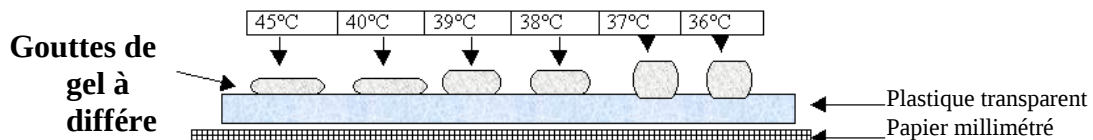
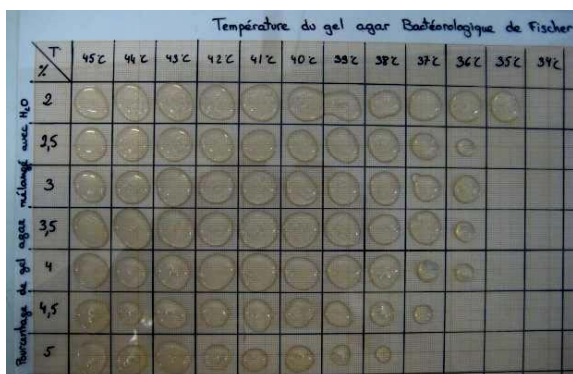


Figure 1. Schéma du protocole d'application pour l'étude de l'influence de la température sur l'étalement de gouttes de gel

L'objectif de cette étude est de connaître la température optimale d'application du gel sur une surface de pierre poreuse: Idéalement le gel doit être suffisamment liquide pour bien s'étaler, mais suffisamment pâteux pour ne laisser qu'un minimum de résidus à l'élimination. Différents tests ont également été réalisés sur des briques pour arriver à cet objectif.

Protocole

1. Premièrement, nous préparons sept gels différents à 2 %, 2,5%, 3%, 3,5 %, 4%, 4,5%, 5% dans de l'eau distillée. Pour le fabriquer, il faut le chauffer au bain mairie jusqu'à 90°C et ensuite le laisser refroidir.
2. Deuxièmement, nous le réchauffons pour qu'il redevienne liquide.
3. Ensuite, nous attendons que la température diminue jusqu'à 45 °C
4. Nous déposons une goutte de 50µl du gel agar, prise à l'aide d'une micro pipette (Eppendorf), sur une feuille plastique transparente posée sur du papier millimétré [Figures 2]. Prélever chaque goutte à une température différente de 45 à 34 °C. Pour mesurer la température du gel, nous avons utilisé un thermomètre électronique (testo 925).
5. Une fois que les gouttes sont gélifiées, nous mesurons leurs aires à l'aide d'une loupe binoculaire (Leica MZ16 avec lumière SCHOTT KL 1500 LCD). Ce système nous sert à comparer l'étalement du gel selon sa température et sa concentration.



Figures 2 et 3. A gauche, photographie de l'ensemble de gouttes de gels avec une concentration et une température différentes ; à droite, photographie d'une goutte de gel Agar après calcul de son aire à l'aide du logiciel de traitement d'image Archimed.

3.2.2. Application du gel agar-agar sur la pierre

Influence de la température (°C) et de la concentration du gel sur la quantité de résidus

En premier lieu, nous avons préparé nos échantillons. Pour cela, nous avons coupé des briques en 10 parallélépipèdes (4,5 x 10 x 1 cm chacune) et nous les avons séchées dans l'étuve Memmert 100-800 à 50 °C puis refroidies à l'air ambiant. Ensuite, nous les avons numérotées (selon les explications données dans le paragraphe suivant) et pour finir, nous avons appliqué le gel d'agar avec un pinceau plat à différentes températures et concentrations.

Chaque surface 10 x 5 cm des parallélépipèdes a été subdivisée en trois parties numérotées selon la température et le mode d'application du gel [Figure 4].

Sur les subdivisions extérieures de chaque morceau de brique, nous avons appliqué un gel à une température et une concentration donnée. Cette information est décrite dans l'espace libre du centre. Par exemple, nous pouvons observer la concentration du gel et le chiffre 45P, ce qui veut dire que le gel a été appliqué à 45 °C avec un pinceau.

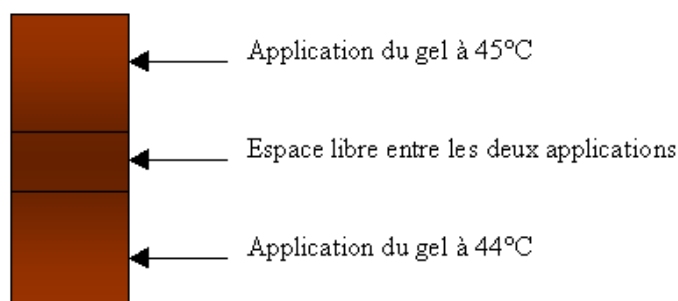


Figure 4. Schéma d'une application de gel à différentes températures sur un échantillon de brique divisé en trois zones.

Chaque gel sera gélifié sur la brique et sera enlevé à la main après 20 min maximum. Après ceci, nous observerons s'il y a des restes de celui-ci sur les bords ou sur la surface ainsi que dans les pores à l'aide d'un microscope binoculaire et à l'œil nu, car le gel brille avec la lumière réfléchiée quand il est sec.



Figure 5. Photographie de l'ensemble des briques sur lesquelles nous avons appliqué un gel à 3,5% à différentes températures (de 45 à 34°C). Comme nous pouvons observer, ces températures vont de haut en bas et de gauche à droite, de 45 °C jusqu'à 34 °C. Évidemment le gel à 35 et 34 °C a été exclus de nos test car le gel devient cassant et il est difficile d'enlever.

Test de microbiologie

Ces dernières années, il est plus fréquent d'utiliser des gels polysaccharides, dans le monde de la restauration des œuvres d'art. Aujourd'hui, la plupart des gens s'interrogent sur le risque d'un développement microbiologique après l'utilisation du gel agar. En effet, l'utilisation du gel polysaccharide peut entraîner, s'il laisse des résidus sur le support, un développement de micro-organismes qui dégraderont l'œuvre restaurée. Mais, pour l'instant, personne n'a réalisé des tests pour évaluer le risque exacte de ce système de nettoyage.

Au LRMH, nous avons mis en place un protocole pour tester si le gel rigide d'agar est susceptible ou non d'induire une colonisation microbiologique sur l'œuvre après retrait.

Protocole

1. Dix échantillons de brique ont été traités avec une couche de gel d'agar.
2. Un dispositif pour déposer les échantillons a été réalisé.
3. Cinq échantillons de chaque matériau traité au gel d'agar, ainsi qu'un témoin, ont été placés dans une boîte fermée et mise sous incubation durant trois semaines.
4. Après incubation, chaque échantillon a été observé à l'œil nu, sous loupe binoculaire et sous microscope optique pour évaluer et identifier les micro-organismes qui se sont développés.

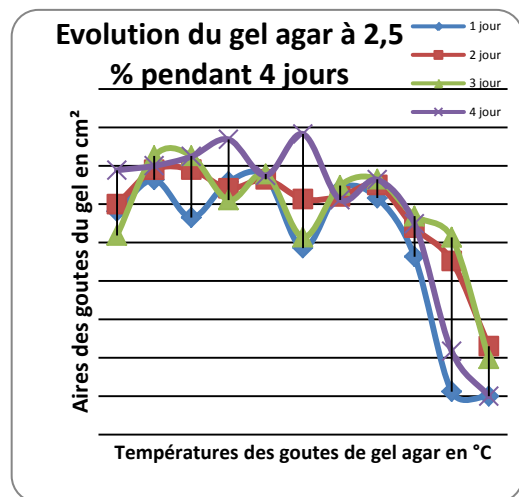
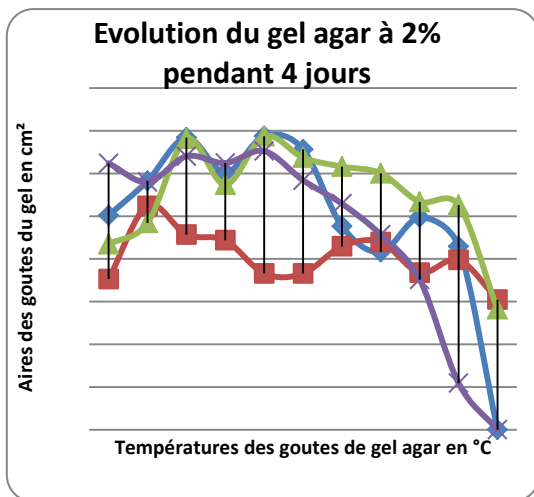
Pour se rapprocher au maximum des conditions d'application in situ, les échantillons sont mis dans un espace confiné et un environnement humide. Aucun rajout de micro-organismes n'a été réalisé.

4. Résultats

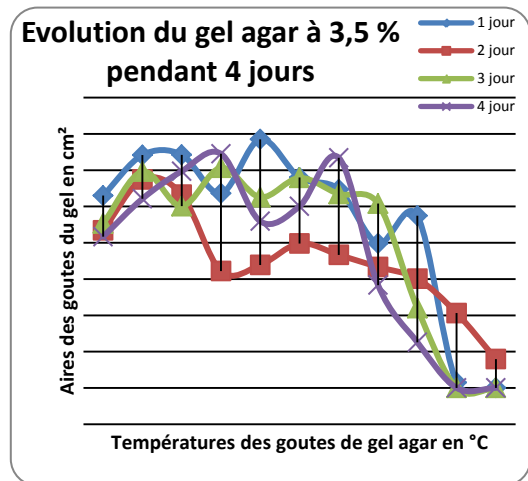
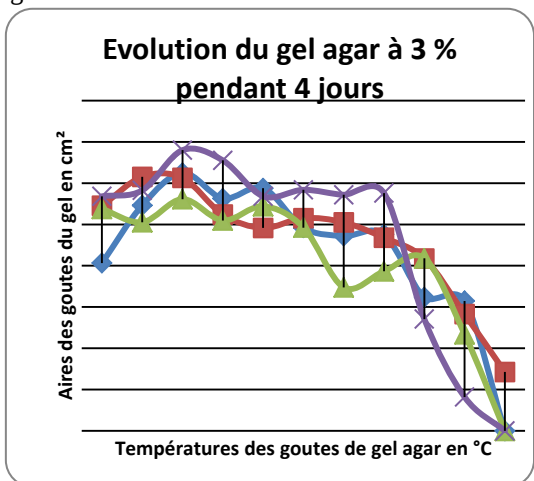
4.1. Température et concentration d'application du gel Agar-agar

Nos premiers tests visent à évaluer la température de gélification ainsi que la concentration du gel agar les plus adéquates pour diminuer les résidus de gel sur la surface de la pierre. En premier lieu, nous avons étudié son comportement sur une surface lisse et imperméable, c'est à dire sans succion capillaire et ensuite sur les briques.

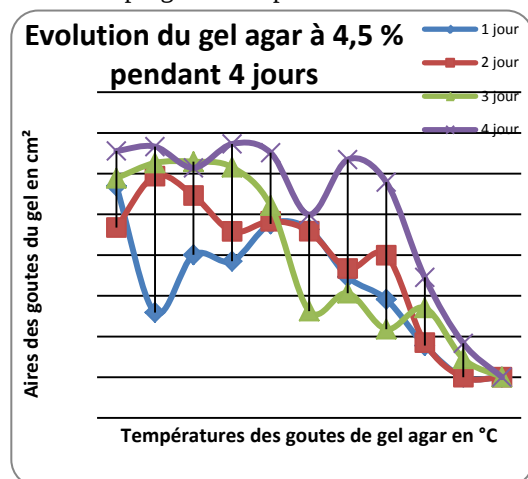
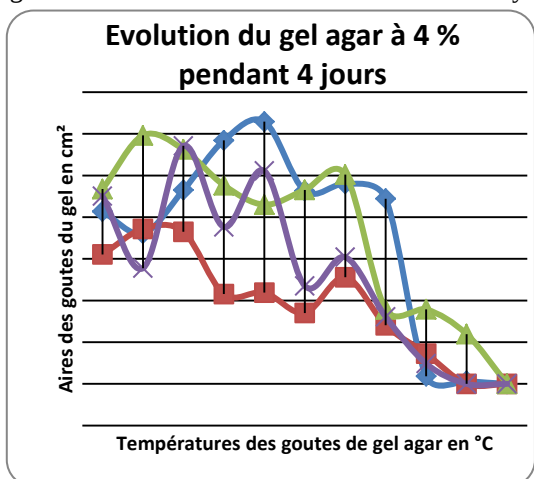
Le premier test de cette étude consistait à connaître le point de gélification du gel agar bactériologique de Fisher Scientific (Fisherbrand) à travers le temps. Pour cela, chaque gel a été chauffé à différentes températures durant 4 jours. Ensuite, chacun d'eux a été appliqué en gouttes sur une feuille plastique à l'aide d'une micropipette [Figures 2, page **Erreur ! Signet non défini.**]. Et pour finir, nous aurons mesuré l'aire de différentes gouttes d'agar (de température et concentration différentes).



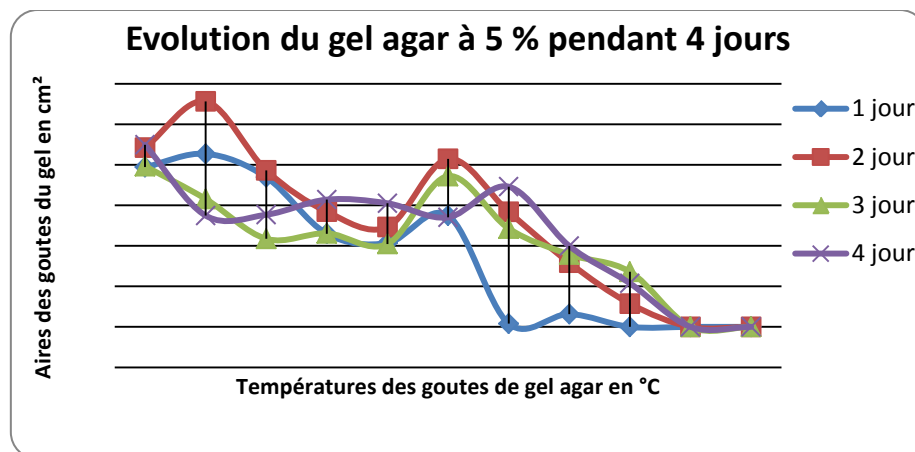
Graphique 2 et 3 . Evolution du gel agar de 2% (à gauche) pendant 4 jours. La température de gélification diminue entre 38 et 36 °C. Et à droite, évolution du gel agar de 2,5% pendant 4 jours. La température de gélification diminue entre 38 et 37 °C



Graphique 4 et 5. Evolution du gel agar de 3% (à gauche) pendant 4 jours. La température de gélification diminue entre 38 et 37 °C. Et à droite, l'évolution du gel agar de 3,5 % pendant 4 jours. La température de gélification descend entre 39 et 37 °C. Nous voyons aussi une diminution progressive à partir de 40 °C



Graphique 6 et 7. Evolution du gel agar de 4 % (à gauche) pendant 4 jours. Il est difficile de savoir connaître exactement la température de gélification. Toutefois, nous observons une diminution progressive de celle-ci à partir de 41 °C puis une forte baisse autour de 39 et 38 °C. Et à droite, évolution du gel agar de 4,5 % pendant 4 jours. Si nous observons les courbes, il est difficile de savoir exactement la température de gélification. Toutefois, nous voyons une progressive diminution de cette température à partir de 41 °C et celle-ci est plus évidente vers les 39 °C.



Graphique 8. Evolution du gel agar de 5 % pendant 4 jours. Si nous observons la courbe, la température de gélification descend entre 40 et 39 °C.

Les résultats montrent tout d'abord que le réchauffement du gel n'a pas d'impact significatif sur son comportement en fonction de la température, dans le laps de temps étudié et les conditions opératoires choisies. Toutefois, il y a de petites différences des aires en fonction des jours. Cela peut être dû à la température de la salle, celle-ci n'étant pas climatisée. Le tableau résume les résultats obtenus :

% du gel	Température de gélification (°C)
2	38-36
2,5	38-37
3	38-37
3,5	39-38
4	39-38
4,5	39-38
5	40-39

Tableau 2. Récapitulation des températures de gélification des différents pourcentages de gel agar

La concentration et température optimale d'application sur les briques est différente pour chaque gel. Cette température augmente avec la concentration du gel. Les meilleurs résultats, selon nos appréciations lors de l'application et retrait de celui-ci, sont obtenus avec une concentration de 3,5 % en agar. Toutefois, il est possible d'utiliser les autres gels avec différentes concentrations, en tenant compte de la meilleure température d'application:

% du gel d'agar	Température d'application (°C)
2	34-35
2,5	35
3	35-36
3,5	38-36
4	38
4,5	38-39
5	42

Tableau 3. Récapitulation des meilleures températures d'application pour les différents gels

4.2. Préparation et application du gel agar-agar sur les briques

4.2.1. Préparation du gel dans un récipient ouvert

Jusqu'à présent, nous avons chauffé le gel d'agar dans un flacon fermé jusqu'à sa dissolution. Dans la littérature, nous n'avons pas trouvé une description précise de cette étape de la préparation du gel et donc, nous avons décidé d'étudier les différences qui existent entre un gel préparé dans une bouteille fermé et une autre ouverte. Ces deux expériences devraient donner des résultats différents, la pression et l'évaporation de l'eau n'étant pas identiques, nous obtiendrons un gel avec une structure différente.

Les observations sous la loupe binoculaire donnent les résultats suivants pour un gel préparé dans un récipient sans bouchon :

Gel d'agar	Température d'application (°C) récipient fermé	Température d'application (°C) récipient ouvert
2%	34-35	-
2,5%	35	35-36
3%	35-36	36-37
3,5%	36-38	35-38
4%	38	37-38
4,5%	38-39	41
5%	42	-

Tableau 4. Récapitulation des meilleures températures d'application pour les gels fabriqués en récipient ouvert ou fermé.

La fabrication du gel dans un récipient ouvert laisse moins de résidus sur la surface de la pierre. La température optimale pour avoir un minimum de gel dans les pores des briques est de 38 °C. Concernant la méthode d'application du gel sur le support, l'instrument le plus adéquat est la seringue, car celle-ci permet un dépôt rapide, propre et homogène, ainsi qu'un meilleur maintien de la température par rapport au pinceau. Nous pouvons ainsi créer des couches assez épaisses (3-5 mm) qui s'enlèvent plus aisément à la main.

4.2.2. Résidus du gel sec sur la surface des briques

Pendant tout le traitement, nous avons observé que les résidus de gel une fois secs étaient très difficiles à enlever des surfaces poreuses. Néanmoins, les recherches menées par certains chercheurs ^{[15][23]} mentionnent que le gel se sépare entièrement de la surface du plâtre quand il est complètement sec. C'est pourquoi, nous avons décidé de laisser sécher une couche de gel à la surface d'une brique pour observer s'il en va de même pour ce type de pierre.

Observations à l'œil nu :

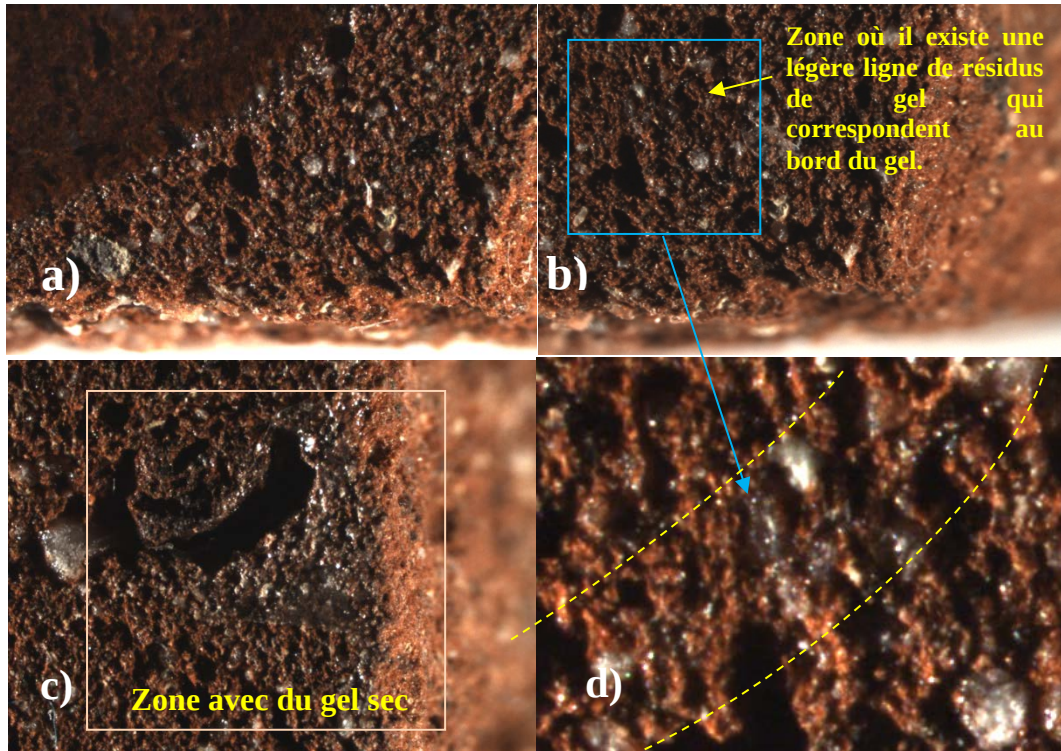
Cette expérience montre qu'une fois sec, le gel se détache complètement de la surface poreuse des briques et des pierres de Migné. Pourtant, nous observons quelques résidus aux bords de la zone sur laquelle a été appliqué le gel et sur la surface des briques. Pour chercher d'autres résidus possibles, nous allons observer les morceaux de briques sous le microscope binoculaire :



Figure 6. Fragment de brique avec une couche de gel sec complètement détaché de la surface

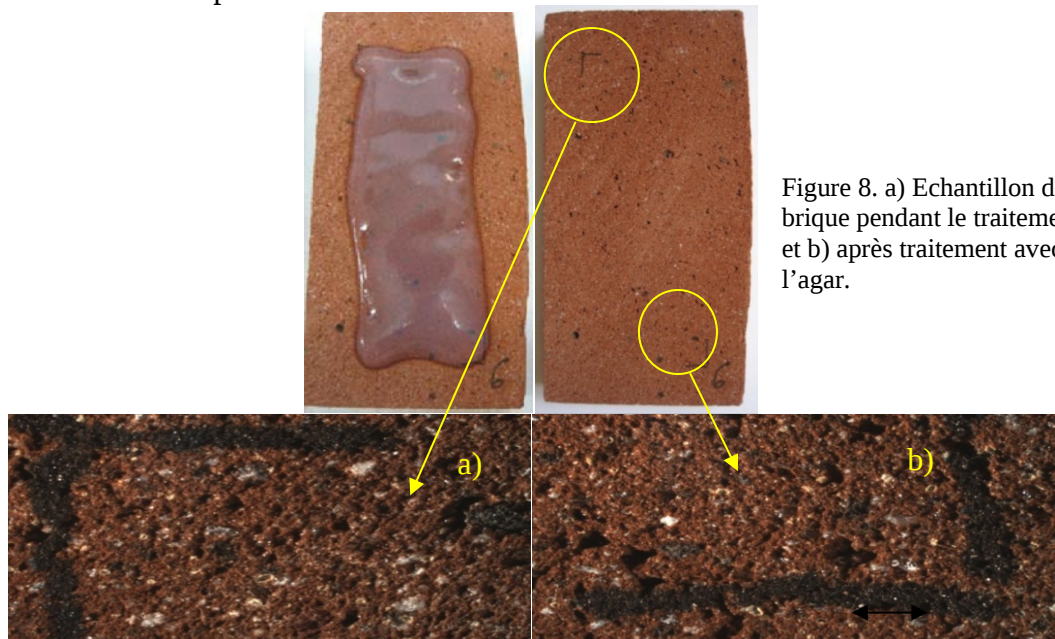
Observation au microscope binoculaire :

Avec une simple lumière réfléchiée, nous pouvons observer des restes de gel secs, à l'endroit où il a été déposé à la surface de la brique. Pour s'assurer qu'il n'y a pas d'autres restes, nous allons observer la surface des supports sous le microscope binoculaire avant, pendant et après le traitement :



Observations visuels et à la loupe binoculaire des échantillons après incubation dans une étuve.

Les photographies suivantes montrent le processus du traitement d'un échantillon avec de l'agar et les résultats après trois semaines d'incubation dans une étuve:



Nous n'observons aucun résidu sur la surface des échantillons. Cependant, après trois semaines à l'étuve, le résultat est le suivant :

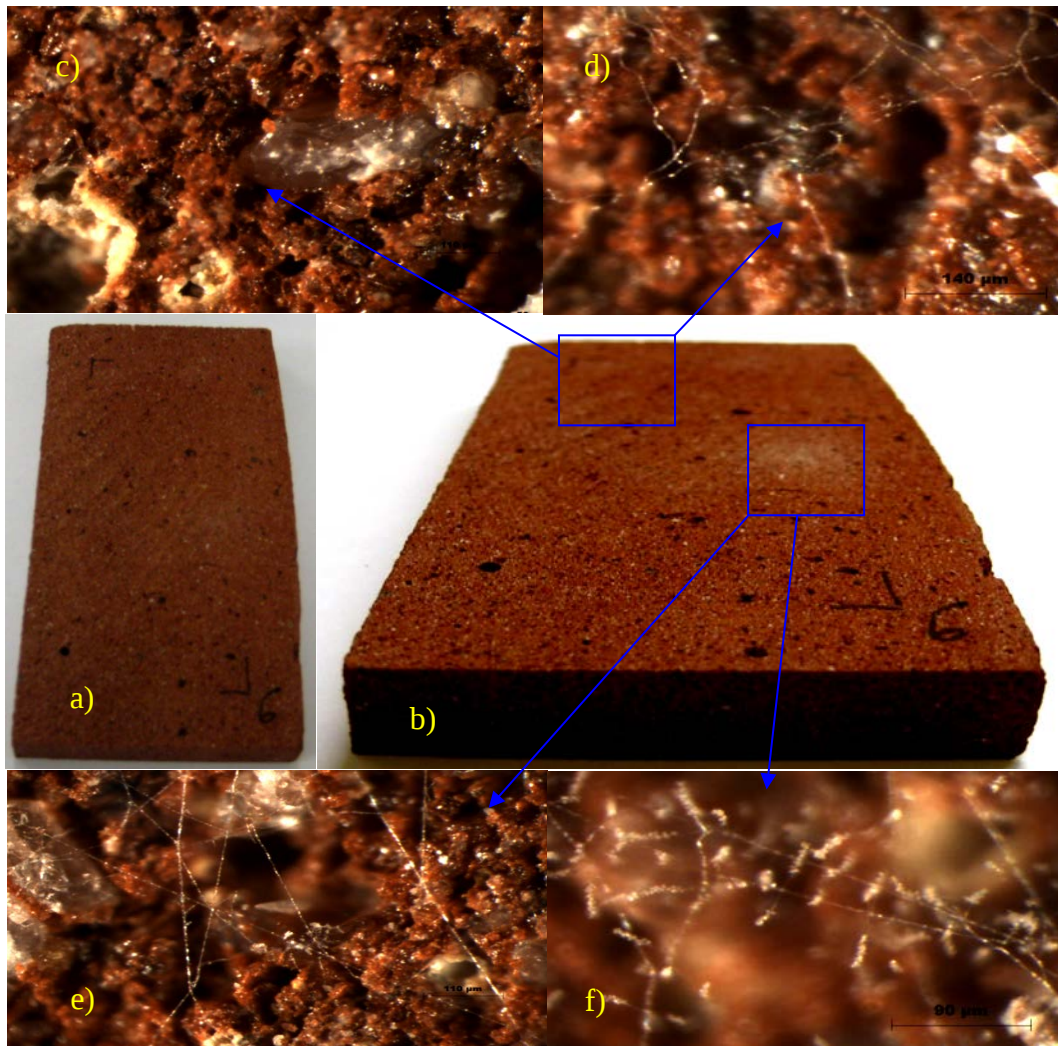


Figure 10. Photographies du détail d'une brique après 3 semaines à l'étuve. A) vue de face, b) vue avec lumière rasante où des taches blanches sont visibles, c), d), e) et f) sont des photographies du détail des points marqués sur b)

Au bout d'une semaine d'incubation, nous avons constaté l'apparition de micro-organismes sur certaines zones où nous n'avions pas observé de résidus [Figure 11]. Après un mois, le développement de moisissures a été observé sur tous les échantillons. Donc, même si à simple vue, il n'y a pas de restes de gel, ces photos démontrent le contraire.

Conclusion

La préparation du gel d'agar est importante pour le résultat du nettoyage. D'après nos observations lors de l'application et retrait du gel, nos multiples tests nous ont permis de conclure que la concentration et la température optimale d'application du gel agar-agar sur des matériaux poreux inorganiques sont respectivement de 3,5 % et 38 °C.

Lors de la préparation, réchauffer le gel plusieurs fois n'a pas d'impact significatif sur sa viscosité. Il est préférable de le fabriquer dans un récipient ouvert plutôt que fermé, car même

si cela entraîne une perte d'eau, on observe une augmentation de la concentration, proportionnelle au temps de chauffage. Pour palier à cette perte, il est recommandé de peser la bouteille avec le gel avant et après le réchauffement, et d'ajouter la différence de poids en eau.

La manière d'appliquer le gel est aussi importante pour un bon résultat. La couche doit être la plus homogène possible, sans grumeaux et plus ou moins épaisse (3-5mm). Car si la couche est hétérogène, le gel se casse plus aisément lorsqu'on l'élimine, et laisse plus de résidus sur la surface de l'œuvre.

L'application à la seringue est une bonne option pour une application assez propre, homogène et rapide pour de petites zones et permet de maintenir la température plus constante qu'avec un pinceau. Ceci, a pour conséquence un retrait plus aisé du gel.

Les résidus qui demeurent sur la surface des matériaux poreux, sont souvent peu flagrants à l'œil nu et même à l'examen au microscope binoculaire ou sous une lampe UV. Les restes que nous arrivons à voir sont en général localisés à la périphérie immédiate du gel. D'après les résultats des tests microbiologiques, les résidus d'agar-agar, même s'ils sont très minimes, provoquent le développement des micro-organismes.

Bibliographie

¹ DE LERA A., "Método experimental para consolidar fibras de papel (1ª parte)" Ed. ge-conservación nº 0, 2009, pp.177-188. (www.revista.ge-iic.com).

² DE LERA A., "Nuevas aplicaciones enzimáticas en procesos de conservación y restauración de soportes celulósicos" *Innovación y nuevas tecnologías en la especialidad de conservación y restauración de obras de arte*, Ed. UPV-EHU, Bilbao, 2012, pp. 132-151

³ CAMPANI E. et al., *L'uso di Agarosio e Agar per la preparawione di "Gel Rigidi"*, Quaderno nº. 4, Cesmar 7, ed. Il prato, Saonara (PD), 2007.

⁴ ANZANI M., et al., *"Gel rifidi di Agar per il trattamento di pulitura di manufatti in gesso"* Quaderni del Cesmar7, Il Prato, Padova, 2008.

⁵ <http://es.wikipedia.org/wiki/Gel>

⁶ VALENTIN N., CORTÉS F., SÁNCHEZ A., « La conservación de vidrieras históricas. Estudios preliminares sobre la aplicación de sistemas gelificados" *Conservación de vidrieras históricas*, Ed. Getty Conservation Institute, Santander, 1994, p.5-15.

⁷ MATTEINI M., MOLES A., *La química en la restauración*, Ed. Nerea, Hondarribia, 2001 p.243

⁸ http://esconres.educa.aragon.es/pdf/jornadas/Apntes_jornadas_2010.pdf

⁹ IANNUCELLI S., SOTGIU S., "La pulitura superficiale di opere grafiche a stampa con gel rigidi polisaccaridici", *Materiali prodotti per il restauro librario. Nuove ricerche*, Ed. Gangeni, Roma, 2010, p.73.

¹⁰ SWIDER J. R., SMITH M., Funori : Overview of a 300-Year-Old Consolidant, *The American Institute for Conservation of Historic & Artistic Works*, Vol. 44, No. 2, (Summer, 2005), pp. 117-126

<http://www.jstor.org/stable/40025138>

¹¹ ARAKI, C., Structure of the agarose constituent of agar-agar. *Bulletin of the Chemical Society of Japan* 29:543-4, 1956

¹² WARDA., I. BRÜCKLE, A. BEZUR, D. KUSHEL. *Analysis of Agarose ; Carbopol an Laponite Gel Poultices in Paper Conservation*, *Journal of the American Institute for Conservation*, vol. 46 N° 3, 2007, pp. 263-279

¹³ ROSS K.A. et al., The effect of mixing conditions on the material properties of an agar gel— microstructural and macrostructural considerations, *Food Hydrocolloids*, 2006, 20, pp.79–87, available on line at www.sciencedirect.com

¹⁴ WOLBERS R., Un approccio acucioso alla pulitura dei dipinti, Il prato, Padova , 2004.

¹⁵ CAMPANI E. et al., *L'uso di Agarosio e Agar per la preparawione di "Gel Rigidi"*, Quaderno nº. 4, Cesmar 7, ed. Il prato, Saonara (PD), 2007.

¹⁶ GOREL F., *Assessment of agar gel loaded with micro-emulsion for the cleaning of porous surfaces*, CeROArt, Conservation, exposition, Restauration d'Objets d'Art, 2010, <http://ceroart.revues.org/1827>

¹⁷ BAJAJ I. B. et al., Gellan gum: fermentative production, downstream processing and application. In *Food Technology and Biotechnology*, 45, 4: 341-354, 2007, (<http://www.ftb.com.hr/45-341.pdf>).

¹⁸ SWORN, G., Gellan gum, *Handbook of hydrocolloids 2nd ed.* Eds. G.O. Philips and P.A. Williams, Oxford, Cambridge, Nex Delhi: Woodhead Publishing limited, 2009, pp. 204-227.

¹⁹ IANNUCELLI S., SOTGIU S., "A new methodology for wet conservation treatments of graphic art on paper with a rigid polysaccharide gel of gellan gum". ICCOM-CC, Denmark, 2010, pp. 47-51.

²⁰ IANNUCELLI S., SOTGIU S., Wet treatments of Works of Art on Paper with Gellan Gels, The Book and Paper Group Annual 29, 2010, p.32

²¹ BOTTI et al. Evaluation of cleaning and chemical stabilization of paper treated with a rigid hydrogel of gellan gum by means of chemical and physical analyses. ICCOM, Lisbon, 2011

²² DOCHEZ S., Influence d'un rétenteur d'eau et d'un agrégat léger sur le comportement rhéologique et l'efficacité de compresses de dessalement à base de cellulose, LRMH, Paris, 2011, p.8

²³ M. ANZANI et al., "Gel rigidi di Agar per il trattamento di pulitura di manufatti in gesso" Quaderni del Cesmar7, Il Prato, Padova, 2008.

LE GÉANT DES BEAUX-ARTS





I LOVE ART

Gerstaecker

L'Art pour tous
I Love Art c'est l'assurance du
prix le plus bas du marché, toute
l'année et sans conditions.

Le meilleur prix garanti
Afin de garantir le prix le plus bas,
I Love Art réactualise ses prix en
permanence.

www.ilove-art.fr

Magasins ouverts en continu du lundi au samedi de 9h30 à 19h00.

Bordeaux

2 rue du Parlement Ste Catherine
33000 Bordeaux
magasin.bordeaux@geant-beaux-arts.fr

Lyon

12 rue Clément Marot
69007 Lyon
magasin.lyon@geant-beaux-arts.fr

Montpellier

1464 Avenue de l'Europe
34170 Castelnau-le-Lez
magasin.montpellier@geant-beaux-arts.fr

Nantes

44 Boulevard du Massacre
44800 St Herblain
magasin.nantes@geant-beaux-arts.fr

Nice

20 rue Gubernatis
06000 Nice
magasin.nice@geant-beaux-arts.fr

Paris rive droite

166 rue de la Roquette
75011 Paris
magasin.paris11@geant-beaux-arts.fr

Paris rive gauche

15 rue Vergniaud
75013 Paris
magasin.paris13@geant-beaux-arts.fr

Strasbourg

91 route des Romains
67200 Strasbourg Koenigshoffen
magasin.strasbourg@geant-beaux-arts.fr

Des conseils ciblés

Profitez de professionnels formés
pour répondre à vos questions !

Toujours + au service de votre Art www.geant-beaux-arts.fr

Rejoignez-nous sur vos réseaux sociaux préférés



EMULSIONANTES POLIMÉRICOS EN SISTEMAS ACUOSOS DE LIMPIEZA: PEMULEN™ TR-2

Carmen AHEDO PINO et Olga CANTOS MARTINEZ

Introducción

Los revestimientos pictóricos, referidos tanto a una pintura de caballete como a una obra de escultura constituyen, según Barros, un sistema compuesto por una estructura doble: superficial y pictórica. En este sentido, «la estructura superficial incluye todos los depósitos presentes sobre el tejido pictórico, con independencia de su composición, función u origen (accidental o intencionado): barnices, colas, suciedad, repintes, estucos...» (Barros, 2001: 54-55; Barros, 2005: 101-103). Sin embargo, consideramos que la segunda, además del «estrato de pintura (aglutinante + pigmento)» citado por este autor (Barros, 2005: 93), también es extensible a otras capas, como corresponde al aparejo, posibles imprimaciones -de arcilla o pintura-, acabados metálicos -dorado, plateado, etc.- e incluso decoraciones en relieve, caso de los *brocados de oja*... (Cantos, 2007: 120-135) puesto que todas estas operaciones forman parte del proceso pictórico, según consta en las fuentes documentales (contratos, tratados de arte...).

Por otra parte, la idoneidad del proceso de limpieza aplicado sobre cualquier sistema pictórico-polícromo descansa sobre una serie de principios básicos basados en la menor toxicidad en relación a la especificidad o selectividad que demanda cada obra singular frente a los materiales a reducir total o parcialmente. En todo caso, deberá tratarse de una operación gradual y controlada y en la misma medida, implicará entre sus objetivos la eficacia del proceso, entendido este término como la capacidad de reducción de los materiales integrantes de la estructura superficial de un Bien Cultural, consistentes básicamente en los depósitos de suciedad superficial y de sustancias filmógenas (Cremonesi, 2011: 7).

En el transcurso de esta operación es preceptivo acotar la actuación sin llegar a rebasar en ningún caso los límites físicos determinados por la interfase de seguridad entre la estructura superficial y la pictórica, ni aportar posibles residuos sobre esta última. Entendemos por tanto, que la selección del sistema de limpieza más idóneo debería establecerse en función del equilibrio entre la eficacia del mismo -en relación al grado de limpieza requerido- y la homogeneidad del procedimiento, priorizando minimizar la toxicidad del sistema para el restaurador y reducir los riesgos de interacción con la estructura pictórica.

1. Presentación de la problemática

Como alternativa a los sistemas tradicionales de limpieza a base de disolventes, a mediados de la década de 1980 Richard Wolbers dio a conocer unos nuevos métodos de carácter más selectivo, basados en el empleo de geles tensioactivos, así como sistemas acuosos entre los que se incluyen los jabones de resina (que trabajan por afinidad), las emulsiones grasas y magras y los geles enzimáticos. Desde entonces han sido numerosos los trabajos que ahondan en la composición de los sistemas gelificados y emulsionados, su acción y sobre todo, los riesgos potenciales asociados a la presencia de residuos.

Enlazando con estas propuestas, el planteamiento fundamental del presente artículo se centra en la revisión de una parte de las formulaciones de base acuosa a través de las experiencias llevadas a cabo desde el IPCE con nuevos polímeros derivados del ácido poliacrílico de la gama Pemulen™ TR-2.

A diferencia de los disolventes en estado libre cuya acción es fundamentalmente de tipo físico, los sistemas acuosos ejercen una acción físico-química (ionización e hidrólisis). No obstante, un sistema acuoso constituye un entorno complejo con numerosos aditivos que actúan de forma sinérgica, de modo que para obtener unos resultados óptimos y adaptados a cada tipo de manufactura, es preciso controlar propiedades únicas del agua como el pH y la fuerza iónica (concentración iónica de la disolución en relación con la conductividad) (Wolbers, 1990: 101), así como el poder quelante y la capacidad tensioactiva (Wolbers, 2004: 5-19). Los sistemas acuosos constituyen, por tanto, formulaciones complejas a las que debemos añadir los espesantes.

1.1. El pH y la conductividad eléctrica (c.e.)

Debido a que «la mayor parte del material filmógeno del cual se compone el barniz, los aglutinantes pictóricos, y otros materiales que encontramos sobre las superficies de la obra policromada son ácidos» (Cremonesi, 2011: 72-75), es necesario ajustar el pH, que expresa la concentración de los iones hidronio presentes en una disolución acuosa.

Controlando el pH de las formulaciones de limpieza se regula la solubilidad de los distintos materiales y técnicas. Por tanto, es preciso respetar los intervalos de seguridad de pH, es decir, el poder de disociación; en este sentido, Wolbers propone trabajar dentro de un rango comprendido entre 5.5 (a valores inferiores se disuelve una preparación de carbonato cálcico) y 8.5 (por encima del cual el óleo se hincha e incluso puede producir la saponificación de los ácidos grasos del aceite) (Wolbers, 1990: 101; Wolbers, 2000: 7; Wolbers, 2010: 22). Cremonesi también ofrece una escala de pH en función de las distintas categorías de materiales filmógenos –barnices de resinas naturales y sintéticas, estratos de pintura al óleo o temple de huevo sin barnizar, cera de abeja, gomas vegetales y proteínas- (Cremonesi, 2011: 76-78), quien de nuevo advierte que un pH demasiado alcalino puede causar ionizaciones significativas y aumento del carácter hidrófilo sobre materiales filmógenos de carácter ácido. Sobre este tipo de superficies, un pH neutro incluso provoca fenómenos de opacidad y blanqueamiento (*blanching*) (Wolbers, Sterman y Stavroudis, 1990: 81-83; Cremonesi, 2011: 75).

Por otra parte, cuando el sistema acuoso entra en contacto con la superficie a limpiar se produce una modificación del pH, de manera que es preciso recurrir a “sustancias tamponadas” (“tampones” o “buffers iónicos”) que controlan de forma precisa y mantienen constantes los valores de pH en las formulaciones.

La c.e.¹ y por extensión la fuerza iónica, está íntimamente relacionada con una propiedad coligativa de las soluciones acuosas: la presión osmótica, que es tanto más elevada cuanto mayor es la diferencia en la concentración de iones presentes entre la disolución de limpieza y la superficie a tratar [Wolbers, 2004: 9-13; Cremonesi, 2011: 53-55, 66-68, 80-84]. Lo más recomendable sería el uso de disoluciones isotónicas respecto a las superficies polícromas, porque conllevan menor riesgo potencial de hinchamiento y disgregación. En pintura al óleo se aconseja trabajar en un rango de c.e. entre 4000-8000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Wolbers, 2004: 10). No obstante, determinados autores proponen una regla general para limitar la conductividad de las disoluciones de limpieza: el valor de éstas no deber ser inferior ni exceder en diez veces la c.e. de las superficies a tratar antes de la intervención (Umney y Rivers, 2003: 533); Cremonesi, 2011: 83) [figura 1].



Figura 1. Equipos de medición de pH y c.e. de sobremesa y portátiles. Fotografía: Autores

1.2. Tensioactivos y quelantes

Los tensioactivos y quelantes son compuestos que añadidos al agua modifican su capacidad para disolver determinados materiales. Los primeros actúan sobre la tensión superficial del agua, reduciéndola. Para entender el uso de los tensioactivos es preciso conocer dos parámetros: la Concentración Micelar Crítica (CMC) y el número HLB o Equilibrio Hidrófilo Lipófilo. La CMC representa la concentración de tensioactivo a la cual sus moléculas comienzan a asociarse en agregados micelares en el seno de la disolución, modificando sus propiedades físicas. El rango medio aconsejado de CMC para la limpieza de policromías se estima entre 0,2 y 5 x CMC, de modo que el aclarado se pueda realizar con disolventes de baja polaridad y por tanto, más adecuados para esta operación (Wolbers, 2000: 30; Wolbers, 2004: 17; Wolbers, 2010: 30-34). En cuanto al HLB «representa el carácter y la solubilidad de un tensioactivo» (Wolbers, 2004: 18; Wolbers, 2010: 86-87, 90-92) y por tanto, el tipo de función –humectante, emulsionante, detergente-, una escala que para los tensioactivos no iónicos alcanza valores de HLB de 0-20 (carácter lipófilo) y en los iónicos entre 20-40 (carácter hidrófilo). Citamos a modo de ejemplo, el Tritón X-100, Tween 20 o lauril sulfato de sodio con HLB 13,4, 20 y 40 respectivamente.

Los quelantes son compuestos que generalmente tienen una estructura *bi-*, *tri-*, o polidentada: contienen dos, tres o más grupos funcionales en la misma molécula que pueden enlazarse a un metal, formando un enlace covalente que lo incorpora a una estructura cíclica estable denominada quelato (Wolbers, 2000: 110; Cremonesi, 2002: 36). Entre los quelantes más comunes en el ámbito de la restauración citamos el EDTA, el ácido cítrico o alguna de sus sales (citrato de triamonio), el STPP (tripolifosfato de sodio) o la TEA.

1.3. Espesantes

Los espesantes son sustancias que determinan el comportamiento reológico de las mezclas sobre las superficies pictóricas. Existen diversos tipos, pero en relación con el tratamiento de revestimientos de pintura citamos los espesantes directos, entre los que se encuentran los

¹ Expresada en Siemens por centímetro o submúltiplos como el mS/cm y más frecuentemente el $\mu\text{S}/\text{cm}$.

polisacáridos como la goma xantano, y los éteres de celulosa, caso de los productos comerciales Vanzan® NF-C y Klucel®. También contamos con los que requieren neutralizaciones u otro tipo de reacciones químicas como corresponde a los derivados de ácido poliacrílico, por ejemplo, los productos comerciales Carbopol® y Pemulen™. Por último, existe una clase de espesantes indirectos, ya que para su preparación precisan un ciclo de calentamiento y enfriamiento: agarosa, agar y gellan (Cremonesi, 2011:16-33).

1.4. Polímeros poliacrílicos: aplicaciones en los tratamientos de limpieza en BBCC

La empresa [Lubrizol Corporation Inc.](#) distribuye desde 1950 numerosos polímeros poliacrílicos para la industria cosmética, farmacéutica, etc., con usos muy diversos. A partir de finales de 1980, y debido a la importante contribución con los “sistemas de limpieza a medida” realizada por [Richard C. Wolbers](#) en el ámbito de la conservación y restauración de Bienes Culturales, algunos de estos materiales han comenzado a utilizarse en los tratamientos de limpieza de revestimientos pictóricos.

Entre ellos destaca la línea de productos Carbopol®, como los tipos 934 y 940, en cuyo proceso de polimerización se utilizaba [benceno](#). En los últimos años de la década de 1990 se desarrollaron otro tipo de materiales poliméricos, algunos de ellos modificados hidrofóbicamente, que han sido recientemente incorporados por el citado investigador a los sistemas de limpieza acuosos. En su proceso de fabricación se utilizan acetato de etilo o una mezcla de acetato de etilo-ciclohexano, disolventes de [menor toxicidad que el benceno](#) (Lubrizol TDS-94, 1995: 1).

En la figura 2 mostramos una evolución en la comercialización de estos polímeros dentro de la [Línea de Materiales Avanzados \(LZAM\)](#) fabricados por Lubrizol- Noveon [figura 2].

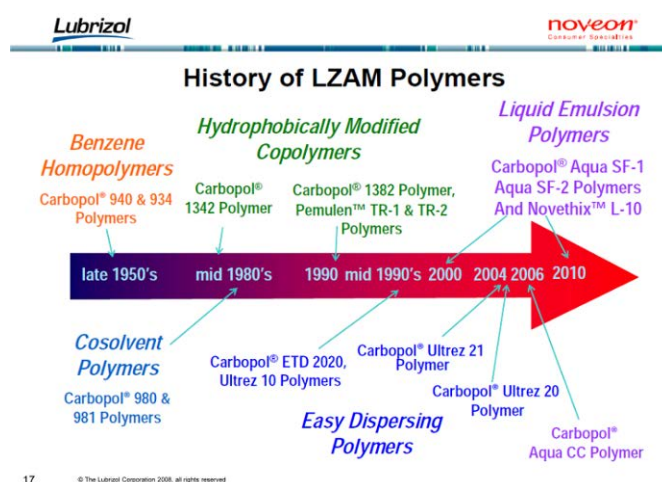


Figura 2. Historia de los polímeros LAZM.

Imagen: <http://ebookbrowse.com/carbopol-polymer-powder-pdf-d416112930>.

1.5. Emulsiones

Una emulsión es un sistema heterogéneo disperso incoherente² de dos líquidos inmiscibles - descritos por convención como aceite y agua³-, uno de los cuales -fase dispersa, interna o

² Dentro de los sistemas dispersos se considera incoherente al sistema integrado por dos fases bien diferenciadas.

discontinua- se encuentra dispersado uniformemente en forma de pequeñas gotas en el otro - fase dispersante, externa o continua- (Szűcs *et al*, 2008b: 271

Los agentes tensioactivos (*SURFace ACTive AgeNT*)⁴, debido a su carácter anfifílico o antipático «poseen la característica de modificar las interacciones interfaciales mediante la promoción de los fenómenos de adsorción» (Fernández, 2006: I.2-I.3). «Actúan reduciendo la tensión superficial entre las fases, y se utilizan para estabilizar las emulsiones y asegurar la estabilidad durante el almacenamiento y la aplicación» (Szűcs *et al*, 2008b: 271).

Son moléculas con una estructura muy característica, que les «habilita para adsorber en las interfases, formar agregados y auto asociarse en disoluciones acuosas» (Aranberri *et al*, 2003: 216). Poseen dos partes de naturaleza opuesta, una cabeza polar o hidrófila, grupo iónico o fuertemente polar, y una cola apolar o hidrófoba, cadena hidrocarbonada frecuentemente lineal o ramificada (Fernández, 2006: I.1). En función de la naturaleza iónica de la cabeza se clasifican en iónicos, con carga positiva, negativa, o ambas, definidos como catiónicos, aniónicos y anfóteros, respectivamente, y no-iónicos o neutros, sin carga iónica (Aranberri *et al*, 2006: 216-217) [figura 3].

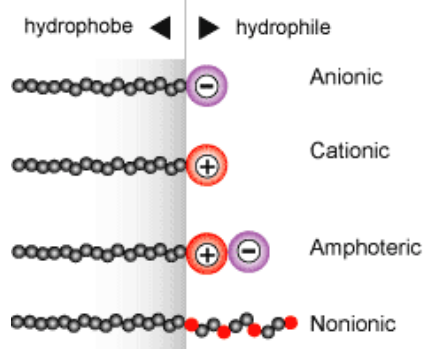


Figura 3. Tipos de tensioactivos.

Imagen: <http://www.inkline.gr/inkjet/newtech/tech/dispersion/>.

Sin embargo, para ser considerados agentes tensioactivos deben no solo mostrar actividad superficial, es decir, propiedades tensioactivas (*surface activity*), sino además presentar la posibilidad de formar agregados micelares. Como ejemplo, el alcohol etílico «es un compuesto anfifílico pero no es un tensioactivo, es decir, no tiene actividad interfacial... Se puede definir entonces tensioactivo como un anfifílico con actividad interfacial y capacidad de formar agregados supramoleculares» (Fernández, 2006: I.2).

La teoría de estabilidad de las dispersiones diferencia entre las liofóbicas, donde la fase dispersa y el medio dispersante no son afines, y las liofílicas, cuando existe afinidad entre los dos medios. En el caso de las dispersiones liofóbicas que nos ocupan, según la naturaleza de la fase dispersa se puede distinguir entre emulsiones grasas o de aceite en agua -*oil-in-water*, o/w-, las magras o de agua en aceite -*water-in-oil*, w/o-, dependiendo de que la fase dispersa sea el aceite o el agua respectivamente, y las múltiples (con las características de aceite en agua en aceite -o/w/o-, o de agua en aceite en agua -w/o/w-).

Las emulsiones no son termodinámicamente estables, siendo varios los mecanismos que contribuyen a desestabilizar el sistema emulsionado, tales como el *creaming*, la sedimentación, la floculación, el engrosamiento de gotas (*Ostwald ripening*) y la coalescencia (Aranberri *et al*, 2006: 212-214; Szűcs *et al*, 2008b: 271). Para garantizar la estabilidad cinética de estos sistemas se debe cumplir que las fuerzas de atracción en el sistema no sean mayores a las de repulsión formadas en el sistema estabilizado, y además comparables en tipo

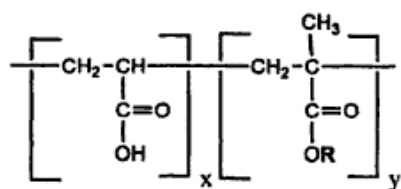
³ «El término agua refiere a una fase polar, que en muchos casos es una disolución de electrolitos, mientras que aceite alude a una fase no polar e inmiscible en agua, como un hidrocarburo, un triglicérido, otras sustancias orgánicas, o una mezcla compleja como el petróleo» (Becher, 1988: 80).

⁴ «Los ingleses utilizan la palabra “surfactant” (agente activo de superficie) para denotar una sustancia que posee una actividad superficial o interfacial. La palabra “surfactant” no tiene una traducción exacta al español, y se usa el término genérico de “tensioactivo”, que se refiere a una actividad o acción sobre la tensión superficial... En algunos casos en español se emplea el neologismo “surfactante”» (Fernández, 2006: I.2).

a las de atracción (Shi, 2002: 5). La estabilidad requerida se puede lograr rodeando las partículas coloidales o fase dispersa mediante una doble capa eléctrica, con moléculas poliméricas adsorbidas o unidas por enlace químico, o usando polímeros libres en el medio de dispersión, métodos de estabilización conocidos respectivamente como estabilización electrostática, estérica y por aumento de la viscosidad *-depletion stabilization-* (Shi, 2002: 5-7).

1.6. Emulsionantes poliméricos: Pemulen™ TR-2

Los emulsionantes poliméricos aparecieron en la última década del siglo XX. Se trata de polímeros obtenidos principalmente por polimerización en bloque (di- o tri-bloque), que contienen una pequeña parte hidrófoba y una larga porción hidrófila (Shi, 2002: 2, 9-10). Este tipo de moléculas poseen actividad superficial debido a que cada uno de los bloques es soluble en una fase distinta (Szűcs, 2008a: 10). En la literatura de la industria cosmética, los polímeros emulgentes Pemulen™ forman parte de un grupo de copolímeros con designación [CTFA/INCI](#): Acrylates/C10-30 Alkyl Acrylate Crosspolymer (Goddard; Gruber, 1999: 620), cuya estructura se refleja en la figura 4.



R = long chain alkyl group

Figura 4. Estructura general de los polímeros Pemulen™.
Imagen: Goddard; Gruber, 1999: 620.

La gama de productos Pemulen™ son copolímeros reticulados de elevado peso molecular de ácido poliacrílico, «similar al de las resinas Carbopol® utilizadas en la actualidad en la formulación de geles acuosos y de disolventes en el ámbito de la conservación de arte» (Tegeli *et al*, 2011: 53), y un co-monómero hidrófobo (Lubrizol TDS-778, 2011: 1). Específicamente, se trata de «copolímeros de ácido acrílico o metacrílico y alquil acrilatos de larga cadena (C10-30) reticulados con alil éter de pentaeritritol o de sucrosa» (Goddard; Gruber, 1999: 620). Su «estructura química permite que estos copolímeros anfipáticos actúen como emulsionantes primarios en la formación de emulsiones grasas» (Lubrizol TDS-114, 2002: 1), así como modificadores reológicos de los sistemas emulsionados con función secundaria.

Los productos Pemulen™ se presentan inicialmente como partículas primarias de aproximadamente 0,2 μ de diámetro, cada una de las cuales puede entenderse como una estructura de la red de las cadenas poliméricas interconectadas por enlaces transversales (reticulaciones), sin los que las partículas constituirían solo un conjunto de cadenas lineales entrelazadas pero carentes de unión química (Lubrizol TDS-222, 2008: 1). Los polímeros reticulados, a diferencia de los lineales, se dispersan en agua pero no se disuelven. Los Pemulen™ se comercializan en forma de excipientes en polvo, comenzando las moléculas a hidratarse y desenrollarse parcialmente al ser dispersadas en medio acuoso, con un rango de pH 2,5-3,5 según la concentración del polímero, y requieren la adición de una sustancia básica al ratio adecuado (Lubrizol TDS-237, 2009: 1-2) que neutralice la elevada acidez inicial y modifique la viscosidad [figura 5].

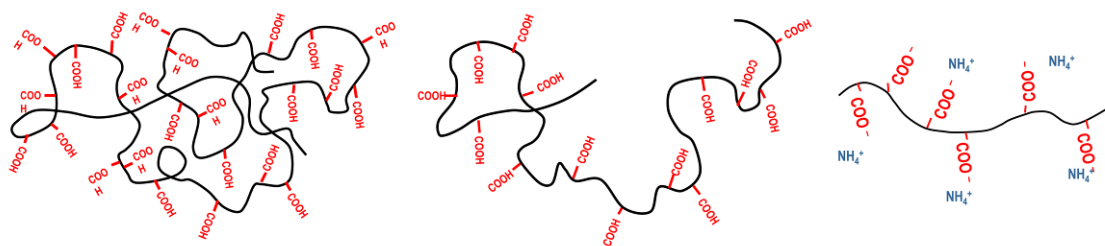


Figura 5. Molécula de ácido poliacrílico antes y después de la neutralización.
Imagen: Lubrizol TDS-237, 2009: 2.

Debido a que el pK_a^5 de estos materiales es de $6 \pm 0,5$, cuando se utilizan a pH alrededor de 4-6 los grupos carboxilato de la cadena del polímero se ionizan, provocando la repulsión entre las partículas negativas y promocionando el hinchamiento del polímero hasta 1.000 veces su volumen y 10 veces su diámetro originales (Lubrizol TDS-222, 2008: 1; Eliche, 2010: 71). En el rango de pH 5-9 se obtienen sistemas espesados con elevadas viscosidades. La viscosidad óptima se alcanza a pH 6,5-7,5, y decrece a partir de pH 9, (Lubrizol TDS-237, 2009: 1), aunque el valor más indicado para una emulsión estable de Pemulen™ TR-2 se encuentra en el rango 4-8 (Lubrizol TDS-114, 2002: 7).

El grado de reticulación de los Pemulen™ determina la viscosidad y el tamaño de las partículas de gel formadas. Así, a menor grado de reticulación, estos materiales absorben mayor cantidad de agua y las partículas de gel son también más grandes, por lo que se obtienen sistemas de menor viscosidad. En la industria cosmética se habla de polímeros “soft” y “rigid” para referirse al menor y mayor grado de reticulación respectivamente (Lubrizol TDS-778, 2011: 2).

El peso molecular de los polímeros tipo Carbopol® es una cuestión compleja. Se calcula que puede alcanzar los 4,5 billones debido tanto a la estructura aleatoria de las reticulaciones como a las múltiples interconexiones de las cadenas poliméricas (Lubrizol TDS-222, 2008: 2-3). El ratio de neutralización que indica el fabricante permite obtener geles a pH neutro y «se basa en el polímero Carbopol® Ultrez 10, aunque es de aplicación a todos los polímeros Carbopol® y Pemulen™ ya que tienen el mismo peso equivalente de 76 ± 4 » (Lubrizol TDS-237, 2009: 2).

«Los tensioactivos tradicionales, iónicos y no iónicos, estabilizan las emulsiones fundamentalmente mediante fenómenos de adsorción y formación de capas laminares líquidas cristalinas en la interfaz de la emulsión, para lo cual se precisan cantidades de 3-7% en peso de tensioactivo» (Lubrizol TDS-114, 2002: 1; Szűcs, 2008a: 12; Tegeli *et al*, 2011: 54).

Los nuevos emulsionantes poliméricos Pemulen™ promocionan la formación de emulsiones o/w muy estables a muy bajas concentraciones (0,1-0,4% en peso) mediante dos mecanismos que claramente los diferencian de los tradicionales: la pequeña fracción polimérica hidrófoba se integra o se adsorbe por fisi o quimisorción en la interfaz aceite-agua, sirviendo como polímero de unión al resto de la molécula hidrófila del emulgente, la cual se hincha en el agua y forma una red de microgel alrededor de las gotas de la fase dispersa (Lubrizol TDS-778, 2011: 1), red que proporciona estabilidad polimérica por repulsión estérica (Shi, 2002: 10). Ambos mecanismos evitan la coalescencia y el *creaming* (Lubrizol TDS-778, 2011: 1) [figura 6].

⁵ Donde K_a es la constante de disociación ácida.

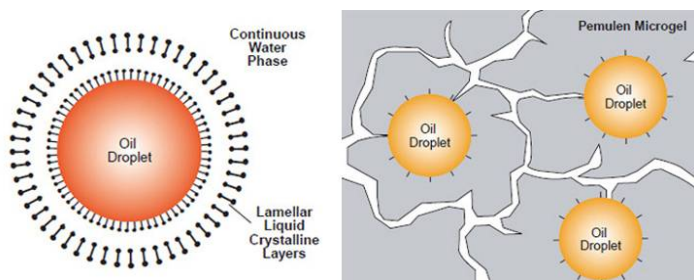


Figura 6. Estabilización de emulsiones: a la izquierda, con tensioactivo tradicional, y a la derecha, con emulsionante polimérico. Imagen: Lubrizol TDS-114, 2002: 1.

1.7. Pemulen™ TR-2 en Conservación y Restauración

Respecto al ámbito de la conservación y restauración, los Pemulen™ se perfilan como polímeros de características mejoradas respecto a otros materiales homólogos. Su principal diferencia radica en que han sido hidrofóbicamente modificados (por adición de cadenas hidrófobas) y transformados en emulgentes primarios con actividad superficial, a diferencia de los Carbopol® generalmente usados, con función primaria espesante.

Considerados emulgentes universales, ya que pueden utilizarse con cualquier tipo de fase grasa con independencia de su HLB y temperatura de formación de la emulsión (*emulsification*), permiten desarrollar formulaciones muy estables con pequeñas cantidades de polímero, incluso durante el almacenamiento a temperaturas de 40° C (Lubrizol TDS-114, 2002: 2). Son capaces de emulsionar hasta el 50-60 % de aceite, porcentaje que aumenta hasta un 80% (Lubrizol TDS 114, 2002: 5) con la adición de emulgentes secundarios (co-tensioactivos), lo cual reduce el riesgo potencial de residuos, tanto en la superficie de las obras como en la estructura pictórica⁶.

Por otra parte, los Pemulen™ permiten la incorporación de disolventes, polares y apolares. Algunos autores mencionan no superar el 50% en peso o el 20% en volumen en el caso de los geles de TR-2. Al tratarse de sustancias químicas de tipo aniónico se recomienda utilizar agua desionizada (Lubrizol TDS-114, 2002: 7) y evitar concentraciones de cationes divalentes, que «reticulan iónicamente los polímeros y ocasionan la precipitación» (Lubrizol Pharmaceutical Bulletin 5, 2011: 2).

Respecto a la toxicología, a diferencia de otros compuestos homólogos, en el proceso de polimerización no se utiliza benceno (Goddard; Gruber, 1999: 620; Lubrizol MSDS, (2013): 1-2). La seguridad de estos productos está avalada por un historial de uso seguro en aplicaciones de medicamentos, cosméticos y productos domésticos. Su naturaleza de hidrogel y las bajas concentraciones necesarias (Lubrizol TDS-114, 2002: 2) disminuyen el potencial de irritación en piel -testado en animales y humanos- (Lubrizol TOX-007, 2003: 2-3) y la toxicidad general queda muy reducida al actuar en forma gelificada. No obstante, se debe trabajar con el correspondiente EPI, en particular durante la manipulación del producto en forma pulverizada.

Estos productos han sido diseñados para que, en contacto con concentraciones salinas similares a la piel humana se altere la estabilidad del gel⁷ (Lubrizol TDS-114, 2002: 2). Dicho fenómeno se ha observado durante el tratamiento de limpieza de obras de arte con elevada

⁶ Al reducir la tensión superficial, los tensioactivos pueden penetrar provocando fenómenos de hinchamiento y quedar retenidos en la estructura pictórica, lo que dificulta su eliminación en los procesos de aclarado.

⁷ La parte hidrófila del hidrogel se deshinchaba liberando la fase oleosa.

suciedad superficial de tipo graso que requieren contacto prolongado con el sistema emulsionado (Tegeli *et al*, 2011: 55), por lo que se deben conocer y controlan los valores de pH y especialmente la conductividad, tanto de las formulaciones de limpieza como de las superficies pictóricas (véase figura 1).

Dentro de la [línea de productos Pemulen™](#), en conservación y restauración se ha comenzado a utilizar el [Pemulen™ TR-2](#) (en adelante PTR2), de menor grado de reticulación que [TR-1](#), por su mayor capacidad emulsionante o/w (hasta un 60-80% de aceite en peso a un pH de 4-5) usado en cantidades inferiores al 0,4% (Lubrizol TDS-114, 2002: 5). Su menor viscosidad puede ser modificada mediante la adición de otros agentes espesantes, acrílicos tipo Carbopol®⁸ a concentraciones entre 0,2-0,6% (Lubrizol TDS-114, 2002: 4), o neutros. Las propiedades y características de estos nuevos emulgentes se muestran en la tabla 7.

Propiedades	PTR1	PTR2
Función primaria emulsionante	Sí	Sí
Carga de aceite*	20-30%	50-60%
Viscosidad relativa	Media	Baja
Valor de rendimiento	Alto	Alto
Rango de pH efectivo	4-9	4-9
Concentración uso típica	0,2–0,4%	0,1–0,3%

Tabla 7. Comparación de distintos grados de Pemulen™. Datos extraídos de <http://www.lubrizol.com/PersonalCare/Products/Pemulen/default.html>.

* Sin emulsionantes secundarios

Aunque existen referencias teóricas al uso de los productos Pemulen™ en pintura mural (CURTEIS, 1991: 21), las primeras aplicaciones prácticas han sido propuestas en el [museo Shelburne](#) de Vermont donde en agosto de 2007 Wolbers sugirió el uso de este nuevo material para la limpieza de la obra *Dentzel Carousel*. Desde el museo los restauradores han desarrollado diversas formulaciones con PTR2 al 1%, modificando el tipo de agente de neutralización, así como el ratio utilizado, e incorporando disolventes como fase emulsionada hasta el 20% en volumen. La restauradora de la institución Laura Brill probó por primera vez varias mezclas usando PTR2 en la obra [Carousel Giraffe](#).

A partir de entonces se han llevado a cabo numerosos cursos teórico-prácticos en los que distintos profesionales han abordado esta cuestión. Citamos entre ellos: UCM (Madrid), mayo 2011; GCI-MoMA (Nueva York), mayo 2011; Reinwardt Academie (Amsterdam)-SRAL⁹ (Maastrich), septiembre 2011; VAG¹⁰ (Vancouver), marzo 2012; Reinwardt Academy (Amsterdam)-RCE¹¹ (Rijswijk), junio 2012; Tate Britain (Londres)-GCI, julio 2012; UPV (Valencia), febrero-mayo 2013; Lunder Conservation Center (Washington DC), abril-mayo 2013.

⁸ En formulaciones industriales se indica que la adición de hidrocoloides poliméricos, como Carbopol®, a los geles emulsionados con Pemulen™ permite incrementar la viscosidad y el valor de fluencia de la fase dispersa o hidrogel, lo que aumenta la estabilidad (Lubrizol TDS-114, 2002: 1).

⁹ Stichting Restauratie Atelier Limburg.

¹⁰ Vancouver Art Gallery.

¹¹ Cultural Heritage Agency.

2. Metodología y proceso científico

La introducción de un nuevo producto procedente de otros ámbitos en Conservación y Restauración, requiere de una valoración teórico-práctica que permita conocer la viabilidad de su aplicación en la intervención de obras patrimoniales. Esta investigación forma parte de un Proyecto interdisciplinar abordado entre los Departamentos de Pintura y Escultura del IPCE, donde se han llevado a cabo una serie de ensayos con geles de PTR2 sobre revestimientos pictóricos en soporte textil y lúneo (lienzo *Cena de Emaús*, escultura de *Santa Lucía* y ménsula de *San Juan*) [figura 8].

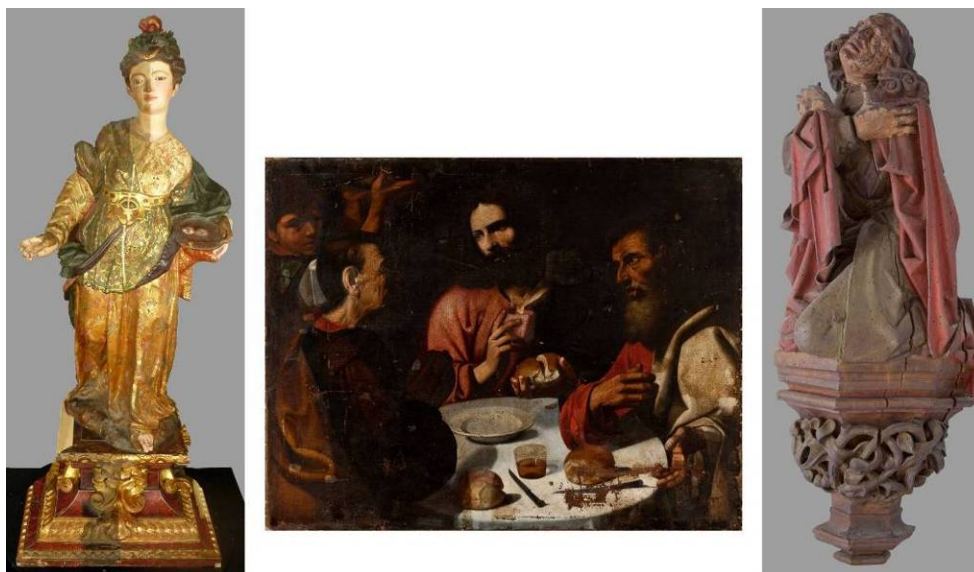


Figura 8. *Santa Lucía*, *Cena de Emaús* y *San Juan*. Fotografía: IPCE.

A partir de las experiencias desarrolladas en el museo Shelburne se prepararon distintas [formulaciones](#) del modo siguiente. Al agua desionizada se adiciona la sustancia básica, para después ir añadiendo el polvo de PTR2 en pequeñas cantidades, agitando manualmente y de forma continuada hasta la obtención del gel. Este proceso debe realizarse lentamente para reducir la formación de burbujas y grumos. La neutralización del polímero no es inmediata, constatándose un descenso del pH a lo largo de los días siguientes hasta que los grumos iniciales desaparecen. Conviene medir el pH y la conductividad de forma periódica hasta obtener valores estables. En este momento se incorporan los [disolventes](#) y finalmente, a indicación del fabricante, se tampona con la disolución reguladora elegida según el valor de pH seleccionado (Lubrizol Pharmaceutical Bulletin 5, 2011: 2) [figura 9].



Figura 9. Pemulen™ TR-2 y set de disoluciones reguladoras. Fotografía: Autores.

El aspecto final del preparado es incoloro y transparente; no obstante, al añadir algunos disolventes como el alcohol bencílico, se produce un incremento en el parámetro de opacidad adquiriendo un aspecto blanquecino. Respecto a las formulaciones con Carbopol®, que requieren elaboración mediante agitación magnética, los PTR2 pueden prepararse manualmente. Estos últimos mantienen las características tixotrópicas a pesar de su menor viscosidad -4500 a 13500 mPa·s- al 1% en peso y pH 7,5- (Lubrizol SPEC, 2010: 1), resultando un sistema espesado de mayor elasticidad y facilidad de manipulación [figura 10].



Figura 10. Escala de textura y opacidad en geles de PTR2. Fotografía: Autores.

En la tabla 11 se reflejan las formulaciones desarrolladas, teniendo en cuenta que en los geles 4 y 5 el ratio base-ácido se expresa en peso, siguiendo las indicaciones del fabricante.

1-PTR2		2-PTR2		3-PTR2	
AD*	100 ml	AD*	100 ml	AD*	100 ml
TEA	10 ml	TEA	5 ml	TEA	5 ml
		TRIS 2%	5 ml		
PTR2	1 g	PTR2	1 g	PTR2	1 g
pH**	c.e.**	pH**	c.e.**	pH**	c.e.**
9,24	1470	8,95	1677	8,90	1836

4-PTR2		5-PTR2	
AD*	100 ml	AD*	100 ml
TEA	1,5 g	HA* 28%	0,7 g
PTR2	1 g	PTR2	1 g
pH**	c.e.**	pH**	c.e.**
7,21	1884	6,32	3170

Tabla 11. Datos de formulaciones con PTR2.

5-PTR2 + AI* 10%		5-PTR2 + AB* 5%		5-PTR2 + AB* 10%	
AD*	100 ml	AD*a	100 ml	AD*	100 ml
HA* 28%	0,7 g	HA* 28%	0,7 g	HA*	0,7 g
PTR2	1 g	PTR2	1 g	PTR2	1 g
AI*	10%***	AB*	5% ***	AB*	10% ***
pH**	c.e.**	pH**	c.e.**	pH**	c.e.**
6,54	2050	6,59	2150	6,55	2220

* AD (agua desionizada), HA (hidróxido de amonio), AI (alcohol isopropílico), AB (alcohol bencílico).

** Valores de pH y c.e. (unidades en $\mu\text{S}/\text{cm}$). Promedio de tres mediciones estables (a Tª 22°C) obtenidas al cabo de 72 h de la preparación del gel.

*** % respecto al volumen de agua.

3. RESULTADOS: casos prácticos con Pemulen™ TR-2 en pintura de caballete

Seguidamente se exponen los resultados obtenidos en la investigación realizada con Pemulen™ TR-2 a partir de la experiencia llevada a cabo sobre una obra de pintura al óleo. Se trata de una representación de La obra *Cena de Emaús* (Lc. 24), ejecutada en el siglo XVII, procedente de la Academia de Infantería de Toledo.

Durante los estudios previos, los resultados analíticos mostraron importante presencia de cola animal en las zonas testadas, dato contrastado con la fotografía de fluorescencia visible inducida por radiación UV, así como repintes y restos no homogéneos de materiales filmógenos de naturaleza diversa: suciedad, cera, materiales ricos en componentes orgánicos, etc.¹².

Centrándonos en el tratamiento de limpieza, el proceso comenzó con la retirada de la suciedad superficial no adherida mediante aspiración. La eliminación de los restos de cola animal correspondientes a la fluorescencia azul (figura 12), fue realizada con gel rígido de agar, material seleccionado por su capacidad de sinéresis.¹³

El polisacárido se utilizó al 2% en agua desionizada aplicado sobre soporte de fibras textiles de poliéster TNT (Hollytex®), a partir de los resultados obtenidos en los ensayos previos con distintos elementos de barrera y diferentes tiempos de actuación sobre probeta celulósica¹⁴. Este sistema se empleó también para retirar el mismo tipo de material utilizado en la protección perimetral del cuadro, tras la corrección de deformaciones y tensado del lienzo en el bastidor [figuras 12-13].



Figura 12. Fotografía de fluorescencia inducida por UV y pruebas realizadas con gel rígido de agar.
Fotografía: Tomás Antelo y Carmen Ahedo.

¹² Los análisis de materiales han sido realizados por el Área de Investigación y Formación del IPCE (Sección de Análisis de Materiales) y la empresa Arte-Lab, S.L.

¹³ Desorción espontánea de agua a través de la superficie del gel en reposo.

¹⁴ Las pruebas consistieron en la aplicación de cola animal sobre el soporte (papel secante 100% algodón) y la eliminación del mismo con agua desionizada en estado libre y espesada con el polisacárido. Permitieron determinar el grado de humectación y tiempo de actuación más adecuados, utilizando una probeta más higroscópica que el material original.

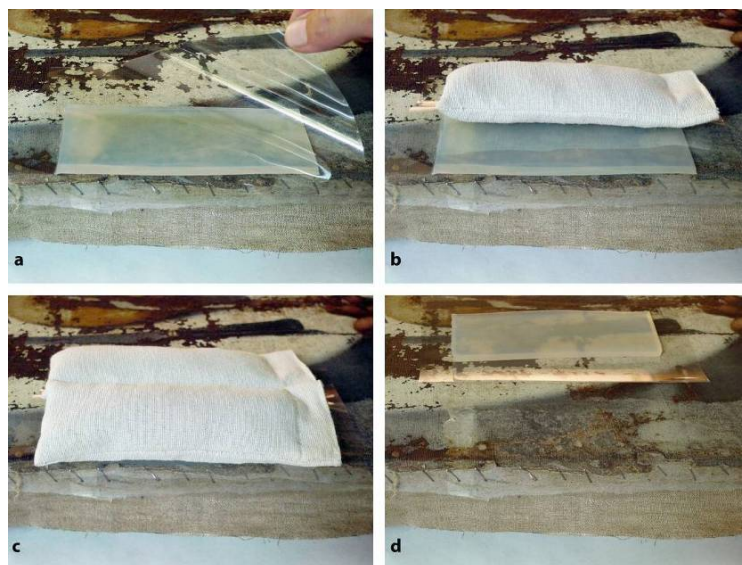


Figura 13. Metodología de trabajo con gel de agar:
a-c, aplicación del gel, y d, eliminación de la protección temporal.
Fotografía: Carmen Ahedo.

El protocolo inicial de limpieza consistió en una aproximación metodológica para determinar la mínima polaridad¹⁵ necesaria para la solubilización de este tipo de materiales (test de solubilidad serie L-A-E de Cremonesi), en este caso, un barniz y restos de otros depósitos. Entendiendo que a mayor polaridad es más posible la interacción del agente de limpieza con los materiales originales, los disolventes en estado libre se testaron a polaridad creciente.

Estos ensayos iniciales no dieron resultados homogéneos, siendo más eficaz la mezcla binaria LA9 (Fd 52). Un sistema gelificado actúa reduciendo la evaporación y la toxicidad, limitando la difusión interna y la retención, y favoreciendo la actuación en la superficie de contacto. Se ha comprobado que permite trabajar con similar eficacia utilizando valores de Fd 6-8 puntos inferiores respecto al valor de los componentes en estado libre (Cremonesi, 2001: 82). Por ello se decidió utilizar un gel tensioactivo de disolventes (Fd 57,1), constituido por Carbopol® Ultrez 21, Ethomeen® C-25 y una mezcla de acetona-ligroina-alcohol bencílico (7:2:1), ajustado a pH 7,8 con tampón Tris y con valor de conductividad 159,15µS/cm. Este sistema mejoró la actividad del proceso de limpieza a menor polaridad, ofreciendo mayor homogeneidad en un tiempo inferior de actuación. El aclarado del gel se llevó a cabo con LA8 (Fd 57).

Sin embargo, la acción de esta mezcla era insuficiente en la mesa y manto del personaje de la derecha, de aspecto graso y mayor brillo que el resto de la pintura. Un microtest efectuado con agua-acetona-hidróxido de amonio al 28% (1:1:1) en el borde inferior derecho mostró buena eficacia, aunque de actuación demasiado rápida y poco controlada. Indicar, además, la toxicidad que comporta el uso de disolventes y reactivos químicos en estado libre y los riesgos potenciales para la obra, atendiendo al elevado valor de pH de la mezcla ternaria que alcanza 12,86.

¹⁵ Polaridad expresada por el valor del parámetro de solubilidad Fd, siempre entendiendo que se trata de una aproximación parcial a los fenómenos de disolución en los tratamientos de limpieza.

Teniendo en cuenta que en el museo de Shelburne se había utilizado un gel acuoso PTR2 para retirar un material aparentemente de naturaleza similar (recubrimiento de aceite de lino envejecido), optamos por probar con sistemas acuosos de emulsionante polimérico (5-PTR2 y 5-PTR2 + AB 5%), cuyos datos se reflejan en la tabla 14. En este caso, la elección del agente neutralizante alcalino responde tanto a los resultados obtenidos del microtest mencionado como a sus ventajas frente a la TEA, por su mayor volatilidad y menor ratio de neutralización requerido. En cuanto a la incorporación del alcohol bencílico, la literatura especializada indica que disolventes con grupo funcional alcohol pueden ser utilizados como co-tensioactivos en la formulación de emulsiones (Wolbers, 2012: 25-26), y su adición permite reducir el pH del sistema sin modificar la eficacia.

La limpieza de estas zonas se realizó con el gel 5-PTR2 a pH 7,8, seleccionando la mezcla sin disolvente por su mayor viscosidad y resultados uniformes. Los repintes precisaban la necesidad de trabajar con valores de pH próximos a 8,5, en el límite del rango de seguridad para pintura al óleo. En estas zonas se empleó la formulación 5-PTR2 + AB 5%, lo que permitió reducir el pH a 8,2 con similar eficacia. En ambos casos los geles fueron tamponados antes de la aplicación definitiva con Tris [tabla 14].

5-PTR2		5-PTR2 + AB* 5%	
AD*	100 ml	AD*	100 ml
HA* 28%	0,7 g	HA* 28%	0,7 g
PTR2	1 g	PTR2	1 g
		AB*	5%***
pH**	c.e.**	pH**	c.e.**
7,8	2590	8,2	2250

Tabla 14. Formulaciones de geles PTR2 empleados en *Cena de Emaús*.

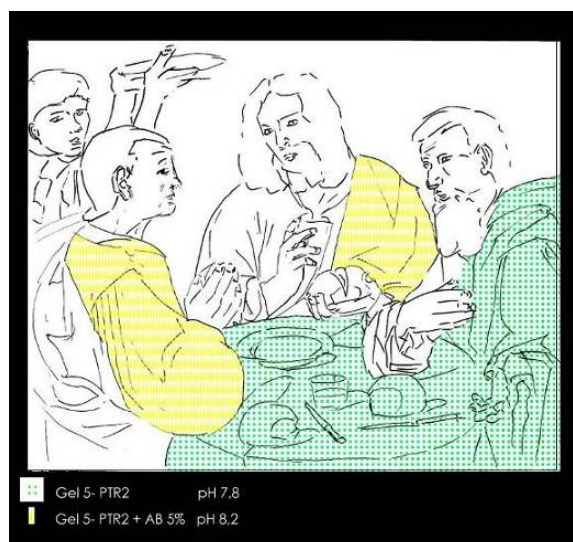
* AD (agua desionizada), HA (hidróxido de amonio), AB (alcohol bencílico).

** Valores de pH y ce (unidades en $\mu\text{S}/\text{cm}$) obtenidos tras el tamponado con Tris a $T^{\circ}\sim 22^{\circ}\text{C}$.

*** % respecto al volumen de agua.

Tabla 14. Formulaciones de geles PTR2 empleados en *Cena de Emaús*.

La metodología de trabajo consistió en dos aplicaciones del gel con hisopo, con un tiempo de actuación de 30-60 segundos, y aclarado en tres fases: 1) en seco, 2) con disolución de *buffer* Tris ajustado al pH del sistema de limpieza utilizado y 3) agua desionizada, siguiendo la metodología descrita en el museo. Atendiendo al fuerte cuarteado en muchas zonas de la obra, fue preciso interponer Hollytex® para evitar la penetración y posteriores residuos del sistema gelificado [figuras 15-16].



Esta metodología descrita permitió la reducción selectiva de materiales filmógenos adaptada a la problemática de cada zona, trabajando a valores de pH seguros para la integridad física y perceptiva de la obra y obteniendo como resultado un grado de limpieza homogéneo mediante sistemas de baja toxicidad.

Figura 15. Mapa de intervención que refleja la limpieza con geles PTR2.

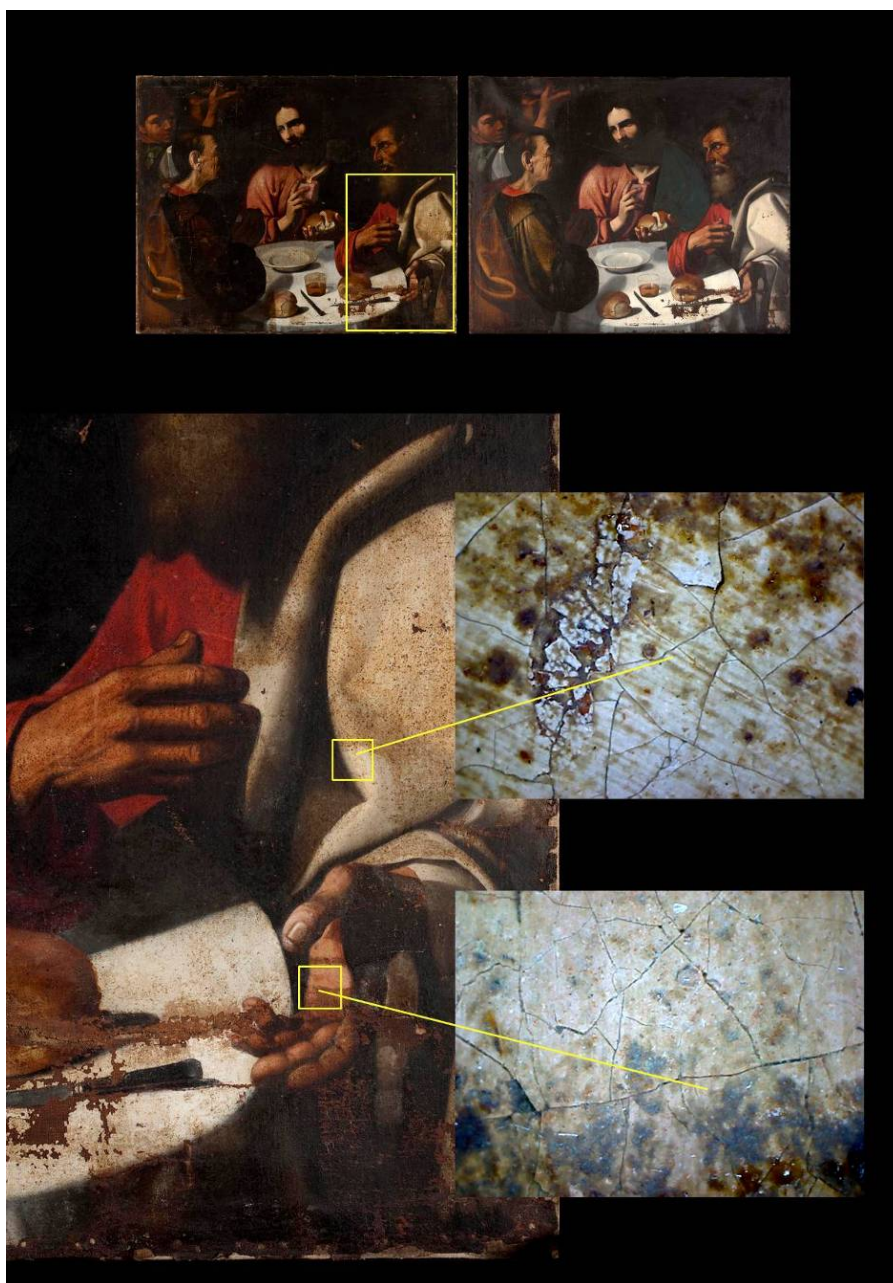


Figura 16. Proceso de limpieza de materiales filmógenos. Fotografía: IPCE.

CONCLUSIONES

Todo tratamiento de limpieza supone un proceso complejo e irreversible, que requiere un profundo conocimiento no solo de los materiales que constituyen las obras, sino también de los utilizados. La aplicación tanto de disolventes en estado libre como de sistemas espesados supone un riesgo potencial para las obras por las interacciones con las mismas (sustracción y/o adición de materiales) y la toxicidad para el restaurador. Este riesgo debe ser evaluado para determinar el sistema de limpieza más idóneo siguiendo criterios de eficacia-seguridad, que permita desarrollar protocolos de limpieza específicos en el tratamiento de los Bienes Culturales.

El uso de sistemas acuosos conlleva, además, el conocimiento de otro tipo de aditivos así como el control de los valores de pH y c.e. en la formulación de limpieza y en la obra. Estas cuestiones se están actualmente investigando en otros objetos artísticos desde los Departamentos de Pintura y Escultura, y esperamos sean objeto de difusión en el futuro.

Materiales

Producto	CAS	Proveedor
Acetona	67-64-1	Sigma-Aldrich
Agar	9002-18-0	Stem
Alcohol bencílico	100-51-6	Sigma-Aldrich
Alcohol etílico absoluto	64-17-5	Sigma-Aldrich
Alcohol isopropílico	67-63-0	Sigma-Aldrich
Carbopol® Ultrez 21	patente	CTS
Ethomeen® C-25	61791-14-8	CTS
Hidróxido de amonio 28%	1336-21-6	Sigma-Aldrich
Ligroina	8032-32-4	Sigma-Aldrich
Pemulen™ TR-2	patente	Lubrizol Corporation
Trietanolamina	102-71-6	Sigma-Aldrich
Tris base	77-86-1	Sigma-Aldrich

Equipamiento

- Multímetro de sobremesa (CRISON INSTRUMENTS S.A., mod. MM41).
- Medidor de pH portátil (HORIBA, set de medición LAQUAtwin, mod. QHB712).
- Medidor de conductividad portátil (HORIBA, set de medición LAQUAtwin, mod. QHB771).
- Balanza (OAHUS, mod. PA213C 210G serie Pioneer™).
- Agitador magnético (ARE).
- Cámara microscópica (DIGITUS, mod. DA-70350).

Agradecimientos

Las autoras desean expresar su agradecimiento por la muestra de Pemulen TR2 facilitada por la empresa Quimidroga, distribuidor oficial en España de la línea Lubrizol Personal Care, Home Care and Pharma, de Lubrizol Corporation, Cleveland, Ohio.

Asimismo, nuestra gratitud es extensible a la Sección de Análisis de Materiales del IPCE por sus observaciones terminológicas.

Bibliografía y webgrafía

- ARANBERRI, I. *et al* (2006): «Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensioactivos» [en línea], *Revista Iberoamericana de Polímeros*, vol. 7 (3), pp. 211-231. Disponible en: <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/AGO06/aranberri.pdf>. [Consulta: 21 de febrero de 2013].
- BARROS, José Manuel (2001): «Los efectos del proceso de limpieza en las estructuras pictóricas» [en línea], *Revista pH*, nº 36, pp. 53-61. Disponible en: <http://www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/article/view/1221/1221>. [Consulta: 28 de marzo de 2012].
- BECHER, Paul (ed.) (1988): *Encyclopedia of emulsion technology*. Nueva York y Basilea: Marcel Dekker, vol. 3. Disponible en: http://www.firp.ula.ve/archivos/historicos/88_Chap_Salager.pdf. [Consulta: 6 de marzo de 2013].
- CANTOS MARTÍNEZ, Olga (2007): «Los sistemas constructivos y las técnicas ornamentales de retablos renacentistas de madera en Aragón. La figura de Juan Catalán», *El Retablo Mayor de la Parroquia de La Asunción de la Virgen de Almudévar. Restauración 2006*. Zaragoza: Ministerio de Cultura, Gobierno de Aragón y Caja Inmaculada, pp. 73-155.
- CREMONESI, Paolo (2001): *L'uso di tensioattivi e chelanti nella pulitura di opere policrome*. Padua: il prato.
- CREMONESI, Paolo (2002): *L'uso dei solventi organici nella pulitura di opere policrome*. Padua: il prato.
- CREMONESI, Paolo (2009): «Reflexiones sobre la limpieza de las superficies policromas» [en línea], *Revista Unicum*, nº 8. Disponible en: <http://unicum.cat/es/2011/03/reflexions-sobre-la-neteja-de-les-superficies-policromades-2/>. [Consulta: 21 de noviembre de 2012].
- CREMONESI, Paolo (2012): *L'ambiente acquoso per la pulitura di opere policrome*. Padua: il prato.
- CURTEIS, Tobit (1991): *An Investigation of the use of solvent gels for the removal of wax-based coatings from wall paintings*, Tesis de Postgrado defendida en el Courtauld Institute of Art de la Universidad de Londres, Departamento de Conservación de Pintura Mural, Londres. Disponible en: http://www.tcassociates.co.uk/downloads/curteis_gels.pdf. [Consulta: 4 de diciembre de 2013].
- ELICHE, Eva Blanca (2010): *Sistemas dispersos tópicos de lidocaína base en solución*, Tesis de Doctorado defendida en la Universidad de Granada, Facultad de Farmacia, Departamento de Farmacia y Tecnología Farmacéutica, Granada. Disponible en: digibug.ugr.es/bitstream/10481/4957/1/18704839.pdf. [Consulta: 5 de marzo de 2013].
- FERNÁNDEZ ARTEAGA, Alejandro (2006): *Preparación, caracterización y estabilidad de emulsiones y microemulsiones O/W*, Tesis de Doctorado defendida en la Universidad de Granada, Facultad de Ciencias, Departamento de Ingeniería Química, Granada. Disponible en: digibug.ugr.es/bitstream/10481/1306/1/16432988.pdf. [Consulta: 9 de marzo de 2013].
- GODDARD, E. Desmond y GRUBER, James V. (eds.) (1999): *Principles of Polymer Science and Technology in Cosmetics and Personal Care*. Cosmetic Science and Technology Series, vol. 22. Nueva York: Marcel Dekker. Disponible en: <http://rgmaisayah.files.wordpress.com/2009/02/principles-of-polymer-science-and-technology-in-cosmetics-and-personal-care.pdf>. [Consulta: 20 de febrero de 2013].
- Lubrizol MSDS, (2013): Lubrizol Pemulen™ TR-2 NF Polymer. Disponible en: <http://online.lubrizol.com/msds/msdsselection.aspx?Product=PEM1006>. [Consulta: 6 de marzo de 2013].
- Lubrizol Pharmaceutical Bulletin 5, (2011): Neutralization Procedures. Disponible en: <http://www.lubrizol.com/Pharmaceutical-Ingredients/Documents/Bulletins/Bulletin-05---Neutralization-Procedures.pdf>. [Consulta: 25 de octubre de 2012].
- <http://www.lubrizol.com/Pharmaceutical/Literature/Bulletins.html>. [Consulta: 26 de marzo de 2013].
- Lubrizol SPEC, (2010): Pemulen™ TR-2 NF Polymer. Disponible en: <http://www.lubrizol.com/Pharmaceutical/Literature/Specifications/Pemulen.html>. [Consulta: 23 de marzo de 2013].
- Lubrizol TDS-94, (1995): Ethyl Acetate and Cyclohexane—A Toxicological Review. Disponible en: <http://www.lubrizol.com/PersonalCare/Products/Pemulen/TDS.html>. [Consulta: 10 de marzo de 2013].
- <http://www.lubrizol.com/PersonalCare/Literature/TechnicalDataSheets.html>. [Consulta: 26 de marzo de 2013].

- Lubrizol TDS-114, (2002): Introducing Pemulen™ Polymeric Emulsifiers. Disponible en:
<<http://www.lubrizol.com/PersonalCare/Products/Pemulen/TDS.html>>. [Consulta: 16 de abril de 2012].
<<http://www.lubrizol.com/PersonalCare/Literature/TechnicalDataSheets.html>>. [Consulta: 26 de marzo de 2013].
- Lubrizol TDS-222, (2008): Molecular Weight of Carbopol® and Pemulen™ Polymers. Disponible en:
<<http://www.lubrizol.com/Home-Care/Documents/Technical-Data-Sheets/TDS-222-Molecular-Weight-Carbopol-Polymers.pdf>>. [Consulta: 16 de abril de 2012].
<<http://www.lubrizol.com/PersonalCare/Literature/TechnicalDataSheets.html>>. [Consulta: 26 de marzo de 2013].
- Lubrizol TDS-237, (2009): Neutralizing Carbopol® and Pemulen™ Polymers in Aqueous and Hydroalcoholic Systems. Disponible en:
<<http://www.lubrizol.com/PersonalCare/Products/Pemulen/TDS.html>>. [Consulta: 16 de abril de 2012].
<<http://www.lubrizol.com/PersonalCare/Literature/TechnicalDataSheets.html>>. [Consulta: 26 de marzo de 2013].
- Lubrizol TDS-778, (2011): Pemulen™ Polymeric Emulsifiers: Flexible Solutions for Enhancing the Stability of Low Viscosity Emulsions. Disponible en:
<<http://www.lubrizol.com/PersonalCare/Products/Pemulen/TDS.html>>. [Consulta: 5 de diciembre de 2012].
<<http://www.lubrizol.com/PersonalCare/Literature/TechnicalDataSheets.html>>. [Consulta: 26 de marzo de 2013].
- Lubrizol TOX-007, (2003): Toxicology / Regulatory / Health, Safety & Environmental Studies of Pemulen™ Polymeric Emulsifiers. Disponible en:
<<http://pemulentr2.pbworks.com/f/Pemulen+environmental+toxicology.pdf>>. [Consulta: 25 de octubre de 2012].
<<http://www.lubrizol.com/PersonalCare/Literature/ToxicologicalMicrobiologicalStudies.html>>. [Consulta: 26 de marzo de 2013].
- SHI, Jingyu (2002): *Steric stabilization*, Columbus, The Ohio State University, CISM. Disponible en:
<http://www.matsceng.ohio-state.edu/ims/LR_Stericstabilization.pdf>. [Consulta: 4 de diciembre de 2012].
- SZÜCS, Mária (2008a): *Formulation and investigation of Gel-Emulsions Containing Polymeric Emulsifiers*, Tesis de Doctorado defendida en la Universidad de Szeged, Facultad de Farmacia, Departamento de Tecnología Farmacéutica, Szeged. Disponible en:
<<http://doktori.bibl.u-szeged.hu/1013/1/BudaiSzucsMariaDissertacio3.pdf>>. [Consulta: 20 de febrero de 2013].
- SZÜCS, Mária *et al* (2008b): «Thermoanalytical and microscopical investigation of the microstructure of emulsions containing polymeric emulsifier» [en línea], *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 94 (1). Budapest, Akadémiai Kiadó, pp. 271-274. Disponible en:
<<http://www.akademiai.com/content/c31g621502311j44/>>. [Consulta: 4 de diciembre de 2012].
- TEGEL, V. S. *et al* (2011): «Pemulen as a versatile emulsifier» [en línea], *International Journal of Drug Formulation & Research*, vol. 2 (1). Solapur, Barthi Publication, pp. 52-63. Disponible en:
<<http://www.ordonearresearchlibrary.org/Data/pdfs/IJDFR60.pdf>>. [Consulta: 4 de febrero de 2013].
- UMNEY, Nick y RIVERS, Shayne (2003) *Conservation of Furniture*, Butterworth-Heinemann. Oxford: Routledge.
- WOLBERS, Richard C.; STERMAN, Nanette T. y STAVROUDIS, Chris (1990): *Notes for workshop on new methods in the cleaning of paintings*. California: The Getty Conservation Institute.
- WOLBERS, Richard C. (2000): *Cleaning painted surfaces. Aqueous Methods*. Londres: Archetype Publications.
- WOLBERS, Richard C. (2004): *Un approccio acquoso alla pulitura dei dipinti, Quaderni CESMAR, 1*. Padua: il prato.
- WOLBERS, Richard C. (2012): «Macroemulsions/Microemulsions», en *Workshop: New Methods of Cleaning Surfaces (Amsterdam, 11-12 de junio de 2012)*. Amsterdam: Restauratoren Nederland, Reinwardt Academy. Disponible en:
<<http://www.restauratoren.nl/upload/documenten/publicatie/presentation-emulsions-microemulsions.pdf>>. [Consulta: 19 de noviembre de 2012].

Traduction résumée de l'article précédant

Par Marion BOSC

Conservateur-restaurateur de peinture au Centre de Conservation Restauration du Patrimoine
Conseil Général des Pyrénées Orientales

EMULSIONS DE POLYMERES UTILISEES POUR LE NETTOYAGE EN MILIEUX AQUEUX : PEMULEN™ TR-2

Introduction

Les surfaces picturales des peintures et des sculptures comportent une structure superficielle (tous les dépôts qui se trouvent sur le film peint, accidentels ou intentionnels) et une structure picturale (toute la stratigraphie sur le support).

Les solutions de nettoyage visent à limiter la toxicité, elles doivent être graduelles et contrôlées.

Il est indispensable de rester dans les zones de sécurité des paramètres physiques déterminés et de ne pas laisser de résidus. Il faut trouver un équilibre entre l'efficacité minimum et l'homogénéité du processus.

1. Présentation de la problématique

R. Wolbers a introduit des méthodes de nettoyage plus sélectives, basées sur l'emploi de gels avec tensioactifs, des systèmes aqueux, parmi lesquels on trouve les savons résine, les émulsions grasses et maigres et les gels enzymatiques.

Cet article vise à réviser ces méthodes aqueuses à travers des expérimentations depuis l'IPCE avec de l'acide polyacrylique de la gamme Pemulen TR-2.

Les méthodes aqueuses exercent une action d'ionisation et d'hydrolyse. Il faut contrôler le pH, la conductivité, le pouvoir chélatant et la capacité tensioactive. A ces systèmes complexes, il faut ajouter les épaississants.

1.1. Le pH et la conductivité

Les matériaux constituant des films peints sont acides, il convient d'ajuster le pH pour réguler la solubilité souhaitée. Il faut respecter les intervalles de sécurité entre 5,5 et 8,5.

Lorsque le système aqueux entre en contact avec la surface à nettoyer, le pH se modifie, il faut donc employer des solutions tampon afin d'éviter ces variations.

Les forces ioniques sont l'une des propriétés des solutions aqueuse. La pression osmotique est élevée lorsque la concentration ionique de la surface à nettoyer est différente de celle de la solution de nettoyage. Il est recommandé d'utiliser des dissolutions isotoniques, pour limiter les risques d'agrégats et de dés-agrégats. Pour la peinture à l'huile, il faut travailler entre 4000 et 8000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. D'une manière générale il est recommandé de travailler à un taux qui ne doit pas être supérieur ou inférieur de 10 fois à celui de la surface à traiter avant intervention.

1.2. Tensioactifs et chélatants

Ajoutés à l'eau, ils modifient la faculté de dissolution des produits à dissoudre. Les tensioactifs agissent sur la tension superficielle de l'eau en la réduisant. Cela nécessite de connaître la CMC (concentration micellaire critique) et la HLB (équilibre hydrophile/Lypophyle). La CMC représente la concentration de tensioactif à laquelle ses

molécules forment des agrégats micellaires, modifiant ses propriétés physiques. Il faut travailler entre 0,2 et 5 x CMC. Cela permet un rinçage avec des solutions à polarité basse.

La HLB représente le caractère humectant, émulsionnant, détergent et la solubilité d'un tensioactif. Les non ioniques (lipophiles) ont une HLB de 0 à 20, les ioniques (hydrophiles) de 20 à 40. Triton X100 : 13,4 ; Tween 20 : 20 ; Lauryl sulfate : 40.

Les chélatants ont une structure bi-, tri-, ou poly fonctionnelles qui peut se lier à un métal pour former une liaison covalente. Les plus communément utilisés sont l'EDTA, l'acide citrique ou ses sels (TAC), le STPP (tripolifosphate de soude) et la TEA.

1.3. Les épaississants

Ils déterminent le comportement rhéologique des mélanges. Il y a les épaississants directs dont font parties les gommes polysaccharides comme la Xanthane et les éthers de cellulose comme le Vanzan NF-C et le Klucel. Il y a ceux qui requièrent une neutralisation ou d'autres type de réaction chimiques tels que les dérivés d'acide polyacrylique du type Carbopol et Pemulen. Il y a les épaississants indirects dont la préparation nécessite un cycle de chauffage ou de refroidissement de type Agarosa et Agar.

1.4. Polymères polyacrylique : applications pour les nettoyages en BBCC

Lubrizol Corporation Inc. Distribue depuis 1950 nombre de ces polymères pour la cosmétique, la pharmaceutique...pour usages très divers. A la fin des années 80, R. Wolbers a commencé à utiliser ces produits pour le nettoyage. Le Carbopol 934 et 940 est polymérisé au benzène. Il a donc cherché des produits fabriqués à base de produits moins toxiques comme l'acétate d'éthyle cyclohexanone (voir fig.2).

1.5. Émulsions

Dispersion hétérogène de produits non miscibles de type huile-eau.

Les tensioactifs (SURFace ACTive AgeNT) permettent de modifier les interactions interfaciales par adsorption. Ils réduisent la tension superficielle entre les phases, stabilisent les émulsions et assurent leur conservation pour le stockage.

Ils ont une structure caractéristique avec une tête polaire ou hydrophile, groupe ionique ou fortement polaire et une queue apolaire ou hydrophobe, chaîne hydrocarbonée linéaire ou ramifiée. Selon la nature ionique de la tête, on les classifie en ionique à charge positive (cationique), négative (anionique) ou neutre (ampholytes). (Voir fig.3)

Exemple : l'éthanol est ampholyte mais n'est pas un tensioactif car n'a pas d'activité interfaciale capable de former des agrégats supramoléculaires.

La stabilité des dispersions se distingue entre les lipophobes où la phase de dispersion et le dispersant sont distincts et les lipophiles où il y a affinité. Les lipophobes se distinguent entre émulsions grasses (o/w), émulsions maigres (w/o) et multiples (w/o/w).

Les émulsions ne sont pas stables sur le plan thermodynamique, elles peuvent se dégrader en *creaming*, se sédimenter, flocculer, avoir leur gouttes qui grossissent (coalescence). Pour assurer la stabilité, il faut entourer les particules colloïdales ou phase de dispersion médiane, d'une double couche électrique avec des molécules polymère adsorbées (polymères libres), on obtient une stabilisation électrostatique, esthétique par augmentation de la viscosité *-depletion stabilisation-*.

1.6. Émulsionnant polymérique : Pemulen TR2

Il est polymérisé en bi- ou tri- blocs, avec une petite partie hydrophobe et une grande partie hydrophile. Chaque bloc est soluble dans une phase distincte. C'est un copolymère CTFA/INCI (voir fig.4), réticulé, à poids moléculaire élevé d'acide polyacrylique, proche du Carbopol. Il agit comme un émulsifiant primaire dans la formation d'émulsions grasses. Il se présente sous forme de poudre, avec un pH de 2,5 à 3,5 selon la concentration du polymère, qui nécessite l'apport d'une base pour augmenter le pH et la viscosité (voir fig.5). Il est très stable entre 4 et 8 de pH.

Le niveau de réticulation détermine la viscosité et la taille des particules du gel. Lorsqu'elle est basse, le gel moins visqueux absorbe plus d'eau et ses particules sont plus grandes. Selon le niveau de réticulation, on parle de polymères « *soft* » et « *rigid* ».

Pour le Carbopol, le taux de neutralisation indiquée par le fabricant pour obtenir un pH neutre est autour de 76 +/-4.

« Les tensioactifs traditionnels, ioniques et non ioniques, stabilisent les émulsions par adsorption et formation de couches laminaires liquides cristallines à l'interface de l'émulsion, pour lesquelles sont nécessaires des quantités de 3 à 7 % du poids du tensioactif »

Le Pemulen permet de faire des émulsions o/w très stables à faible concentration (0,1-0,4 % en poids) (fig.6).

1.7. Pemulen TR2 en Conservation-Restauration

Il a apporté du mieux car moins hydrophobe que par ex. le Carbopol. Il peut être employé dans toute phase grasse indépendamment de la HLB ou de la température de formation de l'émulsion. Il peut émulsionner jusqu'à 50-60 % d'huile, et jusqu'à 80 % par addition de co-tensioactif, ce qui réduit la présence de résidus.

On peut y ajouter des solvants polaires et apolaires à hauteur de 50 % en poids ou 20 % en volume. Les substances chimiques anioniques nécessitent de l'eau déminéralisée.

Il n'est pas formé à partir de benzène, donc moins toxique, ce qui a permis des applications en cosmétique, produits domestiques et pharmacologie. Cela réduit également les irritations cutanées. Il faut travailler avec le correspondant EPI en particulier durant la manipulation de la forme en poudre.

Il est recommandé d'utiliser le TR-2 à moindre grade réticulé que le TR-1, plus émulsionnant en o/w (jusqu'à 60-80 % d'huile en poids à pH 4-5), utilisé en quantité inférieure à 0,4 %. Sa viscosité plus réduite peut être modifiée par addition d'autres épaississants neutres ou de type Carbopol (0,2-0,6%) (Voir propriétés dans tableau 7).

L'emploi du Pemulen est connu en peinture murale à partir de 2007, avec du PTR2 à 1 % en ajoutant jusqu'à 20 % en volume de solvants.

A partir de là divers cursus ont été donnés dans des institutions, UCM (Madrid), MoMA (NY), Reinwardt Académie (Amsterdam), SRAM (Maastricht), VAG (Vancouver)....

2. Méthodologie et processus scientifique

L'utilisation d'un nouveau produit en Conservation-Restauration nécessite une valorisation théorique-pratique afin de connaître sa viabilité sur des œuvres patrimoniales. C'est le motif du travail interdisciplinaire mis en place entre les départements de peinture et de sculpture de l'ICPE. Différents gels de PTR2 ont été testés sur des surfaces peintes et supports textiles et bois (fig.8). Les gels préparés manuellement, étaient incolores, transparents ou légèrement

opaques, comme avec l'ajout d'alcool benzylique. Ils avaient une viscosité de -4500 à 13500 mPa.s à 1 % en poids et un pH de 7,5, élastiques et facile à l'emploi (voir tableau 11).

3. Résultats

Dans les zones testées d'un tableau du XVIIème, se trouvait de la colle animale, de la crasse, de la cire et autres composés organiques. Un dégrassage de surface a été fait. L'élimination des restes de colle animale a été réalisée avec du gel rigide d'Agar pour sa capacité de synérèse (Désorption spontanée de l'eau à travers le gel au repos), à 2 % dans de l'eau déminéralisée. Le gel a été appliqué sur un textile polyester TNT (Hollytex) (Fig.13). Ensuite la polarité de surface du vernis a été mesurée, sachant que plus elle est élevée, plus il y a d'interaction entre l'agent de nettoyage et les matériaux d'origine. Des tests avec des solvants de + en + polaires ont été réalisés. Les résultats ont été hétérogènes, le mélange LA9 s'est avéré le plus efficace. Ensuite ont été réalisés des tests au Carbopol + Ethomeen C25 + acétone-ligroïne-alcool (7:2:1) à pH 7,8, tamponné au TRIS à conductivité 159,15 $\mu\text{S}/\text{cm}$, qui ont permis de meilleurs résultats avec une polarité plus basse, et un temps de pause plus court. Rinçage au LA8.

Pourtant ces essais ne permettaient pas de retirer tous les matériaux à éliminer.

Enfin des tests de PTR2 avec TEA et alcool benzylique (co-tensioactif) à pH 7,8 ont été réalisés et se sont avérés très efficaces. Le pH a été élevé jusqu'à 8,5. Le dosage en alcool benzylique à 5 % a permis de descendre le pH à 8,2, en obtenant la même efficacité. Ces gels ont été tamponnés au TRIS (tableau 14). Les gels ont été appliqués 2 fois de 30 à 60 secondes, rincés en 3 phases : à sec, par dissolution de TRIS ajusté au pH du gel, avec de l'eau déminéralisée. En raison de l'écaillage important de la couche picturale, des pièces de Hollytex ont été interposées.

CONCLUSION

Toute intervention de nettoyage suppose un processus complexe et irréversible qui nécessite une bonne connaissance des matériaux constitutifs de l'œuvre ainsi que de ceux employés pendant les traitements. L'emploi de solvants est dangereux pour les œuvres et pour les restaurateurs. Il faut trouver des solutions d'efficacité/sécurité maximum. L'apport des solutions aqueuses ouvre de nouveaux horizons et elles demandent à être développées.

Nouvelle Adresse
Parc du Courcerin
73, boulevard Courcerin
77185 Lognes
France
01 60 31 96 96

264 pages de solutions pour vos Expositions et Scénographies. La Gestion de vos Réserves. L'Aménagement de vos Espaces d'Accueil et de vos Boutiques.

Nouvelle Edition 2013/2014 **Catalogue Général**

Plus de 3 000 références,
3 catalogues spécialisés,
réunis au sein de notre
nouvelle édition
2013/2014
du Catalogue Général
MuseoDirect
www.museodirect.com



museoDIRECT

Parc du Courcerin - 73, boulevard Courcerin - 77185 Lognes - France

Tél : 01 60 31 96 96 - Fax : 01 60 31 96 97

Email : contact@museodirect.com - Web : www.museodirect.com

« A la confluence des traditions et savoir-faire »

Conservation-restauration d'un manuscrit arabico-malgache sorabe Etude du potentiel des fibres de verre comme matériau de restauration

Alizée LACOURTIADÉ

Le projet de conservation-restauration d'un manuscrit arabico-malgache conservé au musée du quai Branly s'est heurté aux particularités du volume : constitué de feuillets d'un épais papier artisanal recouvert de caractères arabes rassemblés entre eux par une couture et protégés par une couverture faite d'une peau de zébu ayant conservé ses poils, le manuscrit a - de par sa typologie et ses matériaux constitutifs inhabituels - invalidé la plupart des méthodes couramment employées en restauration de livre. Le projet de rattachement des plats et de comblement de la lacune sur le dos du volume requéraient ainsi l'élaboration d'une technique adaptée aux besoins particuliers de ce manuscrit. La recherche de techniques et matériaux alternatifs pour son traitement en conservation ont permis d'investiguer le potentiel des fibres de verre comme matériau de restauration.

1. Les sorabe : des manuscrits de pouvoir à la confluence de différentes cultures

La tradition des manuscrits arabico-malgaches est initiée par des immigrés islamisés : arrivés par bateau au nord-est de l'île, dans la localité de Vohémar, ils s'installent progressivement dans l'embouchure de la rivière Matataña, près de Vohipeno au sud-est de Madagascar, à la fin du XV^e siècle. Leur foi islamique, imprégnée de traditions magico-religieuses connues dans tout le monde musulman, va se détourner de sa fonction initiale pour un nouveau dessein : l'élaboration d'un système royal, au XVI^e siècle, qui fonde son pouvoir sur un savoir « musulman » ésotérique¹. Les royaumes Antemoro² se forment sur l'idée d'une société cloisonnée, très hiérarchisée, où le groupe dirigeant, constitué en aristocratie, assoit son hégémonie sur des connaissances magiques consignées dans les manuscrits sorabe.

Le mot désignant les manuscrits témoigne de l'importance donnée à l'écrit : sorabe signifie «grande écriture»³. L'écriture latine ne date que du siècle dernier à Madagascar : en mars 1823, le roi Radama I adopte les caractères latins et l'orthographe proposés à la cour d'Antananarivo, la capitale, par les missionnaires de la London Missionary society. Auparavant les scribes employaient des caractères arabes adaptés de manière originale au malgache : cette langue, nommée arabico-malgache⁴, se lit de droite à gauche et de haut en bas. La maîtrise des lettres, la possession des manuscrits dote la classe dirigeante d'un objet de pouvoir qui permet le maintien des royaumes Antemoro du XVI^e au XIX^e siècle. Considérée comme sainte, l'écriture est utilisée pour sa dimension surnaturelle et magique, son pouvoir protecteur et ses vertus bénéfiques : elle possède un réel pouvoir intrinsèque et

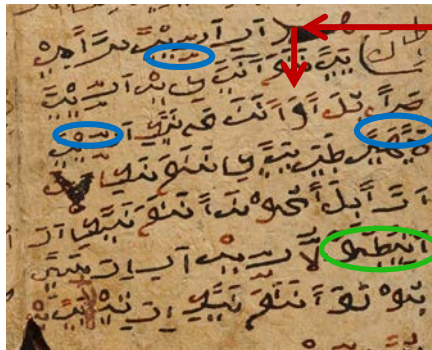
¹ Sur la tradition magico-religieuse en Islam voir DOUTTÉ 1984, SAVAGE-SMITH (dir.) 2004 et HAMÈS (dir.), 2007.

² Sur les royaumes Antemoro et les sorabe, voir BEAUJARD 1991-1992 et BEAUJARD 2007

³ MUNTHE, 1985. Les aristocrates Antemoro utilisent aussi des métaphores comme *reny soratra* « mère de l'écriture » pour les lettres principales et *zana-tsoratra* «enfants de l'écriture » pour les signes diacritiques.

⁴ Pour une analyse détaillée de la langue et l'adaptation de l'arabe au malgache, DEZ, 1977.

elle est omniprésente dans la plupart des domaines de la vie. Par exemple, les manuscrits¹ étaient dans le monde musulman souvent protégés par la simple inscription « yā kabīkaj », « Ô bouton d’or » : l’inscription reflétait l’idée que la seule évocation du bouton d’or, plante hautement toxique, allait permettre de repousser les insectes et vers, permettant ainsi de préserver le volume.



Sens de lecture du texte

Signe diacritique : notation des voyelles.

Caractères : notation des consonnes.



Détail d’un texte en arabico-malgache et première page du manuscrit du quai Branly

Les sorabe témoignent d’un syncrétisme alliant savoir islamique et croyances animistes malgaches. Véritables dépositaires de la mémoire des communautés, ils occupent une place particulière dans la société Antemoro. Le vocabulaire employé à leur égard est par ailleurs révélateur : Voatahiry « que l’on garde, que l’on conserve, ce dont on prend soin » et voarakitra « déposé, gardé comme un trésor ». De par leur statut exceptionnel, les manuscrits occupent une place précise dans la maison de son détenteur : gardés à l’abri des intempéries et des insectes et rongeurs nuisibles, ils sont conservés dans des étuis attachés au plafond ou déposés précieusement dans un coffre de bois au coin nord-est de la maison de leur gardien. Cette direction revêt un sens symbolique fort, l’Est étant lié aux divinités et aux ancêtres, le Nord au pouvoir politique.



Devin-guérisseur préparant des amulettes



Le sorabe est employé de manière quotidienne par l’ombiasy, et sert de support à sa pratique du domaine médico-magique² : dès qu’un événement perturbateur survient au sein d’un village, les manuscrits sont interrogés afin d’identifier la cause du mal - ils servent de support pour la mise en œuvre et l’interprétation de différentes méthode de divination - et le résorber grâce à des recettes et « modes d’emploi » permettant de composer des sorts et talismans. Ces

textes, destinés à une minorité de praticiens avertis, doivent être vus comme un aide-mémoire, relatant seulement les grandes lignes d’une marche à suivre connue de manière précise par les acteurs de la tradition, d’autant que généralement les écrits s’accompagnent d’un savoir transmis oralement qui les complète et les explicite. Il faut concevoir le sorabe comme un outil de travail pour son possesseur et le garant d’une mémoire collective enrichie au fil du

¹ Exemple tiré de SAVAGE-SMITH, 2004.

² Sur le sujet : RAJAONARIMANANA, 1990

temps : loin d'être de simples copies fidèles effectuées de génération en génération, son contenu est vivant et évolutif.

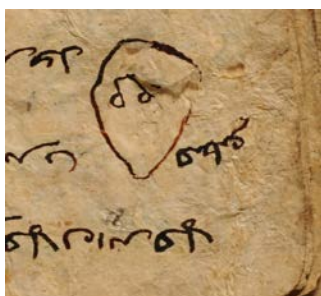
2. Des matériaux qui renforcent le caractère sacré des sorabe...

Les matériaux employés dans la constitution du sorabe revêtent, comme le texte, un caractère symbolique et magique : l'observation d'un corpus conservé dans les bibliothèques parisiennes a permis de noter une grande cohérence dans leur composition que leur dimension hautement sacrée a permis de conserver. La typologie du manuscrit du quai Branly est représentative de cette tradition : le corps d'ouvrage est composé de sept cahiers de papier rassemblés entre eux par une couture de chaînette réalisée sur trois sections de couture à l'aide d'un fil végétal épais. Le bloc texte est protégé par une couverture de peau de zébu : celle-ci est liée au corps d'ouvrage par réalisation d'une seconde couture au travers de trois séries de doubles trous percés sur le dos de l'ouvrage.

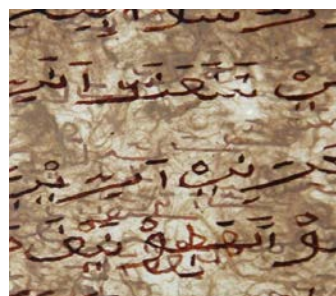


Manuscrit du quai Branly

Le support est composé d'un papier épais, peu flexible, aux fibres blanc-jaunâtre légèrement nacrées fabriqué de manière traditionnelle à Madagascar et connu sous le titre de papier Antemoro, d'après le nom du groupe ethnique qui détient la technique papetière. L'épaisseur du papier est hétérogène, le tapis fibreux irrégulier ce qui a créé des zones où le papier est très fin et présente de nombreux affaiblissements, trous et défauts. Les sources anciennes explicitent le mode de préparation des fibres et la méthode de formation de la feuille : des observations sur la texture et l'aspect du papier ont permis de confirmer la persistance de cette méthode de formation du papier l'aide d'une forme souple ainsi que l'emploi de la moyenne écorce de l'avoha, un arbuste appartenant à la famille des moracées, confirmée pour le manuscrit du quai Branly par une analyse comparative de fibres.



L'absence de fibre a provoqué une lacune de support



Sur table lumineuse : l'épaisseur du papier est très irrégulière



Sous loupe binoculaire : les fibres sont peu raffinées

Compte tenu de la proximité des méthodes de fabrication du papier Antemoro et de l'écorce battue, notamment dans les premières étapes de préparation de la fibre, il n'est pas impossible que certaines techniques employées pour la confection de l'écorce battue aient été réemployées pour la confection du papier, suggérant peut-être une origine austronésienne des importateurs de la technique papetière à Madagascar. Le sorabe Ms. 4482 de la bibliothèque Mazarine présente au sein d'un corps d'ouvrage en papier Antemoro, quelques feuillets qui se

distinguent par leur souplesse, leur blancheur et leur extrême finesse, la présence sur l'ensemble de la surface d'un relief sous forme de petits points, qui semble identifier le matériau comme une écorce battue. Bien qu'unique en son genre, cette observation semble faire état de la perméabilité de la fabrication et de l'emploi des deux matériaux qui consisterait une piste de recherche à approfondir.

L'observation du manuscrit du quai Branly ainsi que l'examen du corpus des sorabe révèle une extrême similarité dans l'unique encre heboro employée. Celle-ci varie d'un noir brillant à un brun rougeâtre en fonction de sa concentration. L'heboro est décrite par Etienne de Flacourt comme une décoction préparée à partir du bois de l'arbre arandrante, une sorte de copalier. Une analyse comparative réalisée à partir d'un échantillon du bois et du fruit de l'arandrante a permis d'affirmer l'usage du fruit pour la fabrication de l'encre : en effet le fruit renferme une gomme-résine qui donne sa brillance et sa viscosité à l'encre. La résine n'étant pas soluble dans l'eau, un autre solvant, dont la nature n'a pas pu être déterminé a dû être employé pour son extraction.

La pose de la couverture en peau de zébu -animal symbole de pouvoir et de richesse à Madagascar-confère au manuscrit son caractère sacré. La peau employée pour le manuscrit du quai Branly est épaisse (1.5 à 2.5 mm selon les zones considérées), rigide et peu plane. Posée coté fleur à l'extérieur de la reliure, la peau présente des poils noirs avec des reflets roux denses et courts dont l'état de conservation est exceptionnel : son taux d'empoussièrément faible, l'absence d'altérations dues à des insectes muséophages, mais surtout la pigmentation très sombre et franche des poils a permis de déduire que le matériau de couverture avait probablement plus de cinquante ans et moins de cent ans, permettant une datation relative du manuscrit au début du XX^e siècle.



Manuscrit du musée du quai
Branly



Ms.HB8, Académie des sciences
d'outre-mer



Ms. 3218, Bibliothèque centrale du
Mnhn

Les caractéristiques physiques de la peau, la présence de poils et de l'épiderme ainsi que son aspect de surface bosselé, sa dureté, sa rigidité, la rapprochent d'une peau brute : des analyses ont permis de déduire qu'elle n'avait pas été tannée mais seulement stabilisée dans un bain de sulfate double d'aluminium afin de la rendre imputrescible. Ce minéral, naturellement présent à Madagascar, est mieux connu sous le terme d'alun, et constitue l'une des méthodes les plus simples de stabilisation d'une peau : possédant un léger effet blanchissant, il présente le désavantage de faire rétrécir et durcir la peau en éliminant son élasticité naturelle, définition qui semble correspondre aux caractéristiques du matériau de couverture du manuscrit du quai Branly. La peau a sans doute ensuite été séchée à l'air libre, sans mise sous tension, à l'aide de techniques simples et rapides qui semblent cohérentes par rapport au contexte de

production du manuscrit : le travail de la peau devait s'effectuer de manière ponctuelle, au village, dans un cadre non spécialisé et artisanal, selon les besoins du moment et en dehors de toute production « de masse ».

3. Des altérations aux conséquences mécaniques graves

De manière générale, le corps d'ouvrage est en bon état. La plupart des altérations sont dues à la nature intrinsèque des matériaux mis en œuvre et à leur vieillissement naturel. Certaines altérations physiques restent préoccupantes : d'une part la méthode de fabrication du papier et d'autre part des attaques de rongeurs ont contribué à la formation de zones de faiblesse, de déchirures et de lacunes, en particulier dans les fonds de cahiers. La couture des cahiers est partiellement rompue : malgré des anciennes réparations au niveau du dos, elle reste fragile et les tensions consécutives à l'ouverture du volume pourraient entraîner sa rupture et la désolidarisation des cahiers entre eux. Enfin, de nombreux éléments dissociés, témoignant de l'utilisation du manuscrit, sont conservés libres entre les pages du manuscrit et risquent d'être perdus ou dissociés lors de futures consultations.

La couverture et sa couture sont dans un état très préoccupant et concentrent la majorité des altérations graves. La peau de zébu s'est rigidifiée avec le temps et ne permet plus que le mors remplisse sa fonction de charnière : le matériau de couverture n'a pas supporté les sollicitations à la pliure provoqués lors de l'ouverture



Plat supérieur et inférieur du manuscrit du quai Branly

et fermeture du volume et s'est peu à peu rompu, provoquant la dissociation du plat supérieur et le quasi-détachement du plat inférieur, rendant complexe et dangereuse la manipulation du volume sans risque de créer de nouvelles altérations.

La lacune d'un tiers du matériau de couverture sur le dos du volume sur le dos du volume a également des conséquences mécaniques graves sur la fonctionnalité du manuscrit. En effet, la différence de rigidité entre zone de lacune et zone où le matériau de couverture est toujours en place crée une différence de soutien des cahiers lors de l'ouverture du volume : tandis que la tête des cahiers, bien maintenue, s'ouvre de manière plane, la queue des cahiers, non soutenue et reliée par une couture visiblement réparée s'ouvre avec une tendance à décrire un arc concave qui amplifie les tensions subies par la couture des cahiers, impliquant un risque de rupture de la couture accru.

La restauration du sorabe du quai Branly se fera dans le respect des valeurs portées par le document, particulièrement sa valeur historique et sa valeur d'usage. En accord avec les responsables des collections, le traitement de restauration aura pour objectif la stabilisation physique du manuscrit afin qu'il puisse être manipulé, consulté, exposé sans risque d'altérations futures. En respect de la valeur historique, le traitement sera le moins interventionniste possible, afin de ne peu ou pas interférer avec les informations dont le document est porteur. Dans cette démarche le traitement réalisé présentera un faible degré

d'intégration esthétique permettant une bonne lisibilité de la restauration. Afin de rétablir la valeur d'usage du manuscrit, une attention particulière sera portée au rétablissement de ses fonctions mécaniques. Suivant cette démarche le traitement des plats détachés et de la lacune du dos sont apparus comme prioritaires.

4. Des moyens d'intervention limités par la typologie du manuscrit

4.1. Le rattachement des plats

La rupture du mors est l'une des altérations les plus fréquemment rencontrées sur les livres, quel que soit les matériaux, l'époque ou le format du volume considéré. Ce problème récurrent a été en partie résolu par les restaurateurs de livres : ces derniers ont proposé différentes méthodes pour le rattachement des plats, avec des degrés d'intervention et d'interférence avec le document original variés, mais tendant toujours vers un compromis nécessaire entre la préservation de son intégrité historique et le rétablissement de sa fonction mécanique¹.

Néanmoins, la plupart de ces techniques - board slotting, board tacketing, apprêtage dépassante - ont été développées d'après et pour des reliures occidentales en exploitant deux de leurs principales caractéristiques : des plats « multicouches »² et la présence d'une apprêtage sur le dos. Ces deux éléments ont été exploités par les trois techniques précédemment évoquées : le matériau de charnière est inséré dans l'épaisseur du plat ou entre deux couches de matériau, rendant cette adjonction à la fois discrète et très résistante aux sollicitations mécaniques puisque le matériau de charnière, pris en « sandwich », joui d'un bon collage, limitant considérablement un risque de décollement et de défaillance de la restauration. En dépit de leur efficacité, ces méthodes sont révélées inadaptées au sorabe, seulement doté d'une unique peau de zébu ne pouvant être séparée en couches.

La méthode de charnière de papier japonais préconise la pose d'une charnière à l'extérieur et à l'intérieur du mors du volume. Cette méthode présente l'intérêt d'être très peu interventionniste dans la mesure où aucun matériau original n'est soulevé, et d'être facilement réversible. L'intéressant ratio force/grammage du papier japonais, sa stabilité dans ces conditions d'usage ainsi que son innocuité chimique, combiné à sa flexibilité et capacité à être teinté avant ou après pose permet d'obtenir un mors solide, visuellement intégré au document original. Cependant, la présence de poils de zébu sur le plat de la reliure semble limiter la possibilité de réaliser le collage d'une seule charnière sur le mors inférieur. Considérant la taille du volume et son poids, la zone de collage disponible ne semble pas être suffisante pour garantir la fiabilité de l'intervention au papier japonais et sa bonne tenue dans le temps étant donné l'important rôle mécanique qui lui serait incombée, d'autant plus que la technique originale est uniquement recommandée pour des ouvrages de petite taille ne dépassant pas 25 cm de hauteur et 3.5 cm d'épaisseur.

4.2. Le comblement de la lacune du matériau de couverture

Le comblement au papier japonais est la méthode la plus répandue pour les reliures occidentales : sa variété de grammage, de texture et d'aspect de surface disponibles permet

¹ DORNING, 2005, P 25

² Ces plats, ayant pour élément structurant le carton, sont rendu « multicouches » et composites par adjonction du matériau de couverture et le contre-collage des gardes

d'obtenir, par contre-collage de plusieurs couches de papier, un comblement d'épaisseur égale au matériau d'origine. Humide, le papier japonais peut être « moulé » et conserve une fois sec la forme qu'on lui a donné : par exemple, il peut s'adapter parfaitement à la forme d'un dos. Le papier japonais peut facilement être teint avec de l'aquarelle ou de la peinture acrylique : la couleur ainsi obtenue et la texture de ce matériau d'apport peut approcher grandement l'aspect de surface du matériau original.

Il importe cependant de créer une légère distinction entre le cas des reliures occidentales ainsi restaurées et le cas particulier du sorabe. Dans le cadre du traitement de ces premières, le comblement de lacune compte parmi les dernières étapes de restauration : les problèmes relatifs à la mécanique et à l'ouvrabilité du volume ont été corrigés en amont, généralement par le biais d'une intervention sur l'apprêt. En d'autres termes, le comblement de lacune se rapporte souvent à une question de choix esthétique, plutôt qu'à une intervention fondamentale impactant sur la mécanique du volume. Ainsi la question des qualités mécaniques et physiques du comblement lui-même ne se pose pas de manière aussi fondamentale que pour le cas spécifique du manuscrit du quai Branly : puisque dans ce cas les aspects mécaniques du livre ne peuvent pas être modifiés par pose d'une apprêt, mais seulement par le matériau de couverture, le comblement va jouer un rôle mécanique crucial. Une importance particulière devra être donnée à ce que son module d'élasticité (flexibilité) soit proche ou équivalent à celui du matériau original afin que le matériau d'apport se comporte de la même manière que le matériau original et remplisse pleinement le rôle mécanique qui lui est assigné.

5. Un matériau alternatif permettant le traitement du manuscrit du quai Branly ?

Afin de résoudre les problèmes posés pour le rattachement des plats et le comblement de la lacune, notamment pallier certaines faiblesses et limites de l'emploi du papier japonais, nos recherches se sont tournées vers le potentiel des fibres de verre comme matériau de restauration. La littérature relative à celles-ci dans le domaine de la restauration est peu fournie. Des tissus en fibre de verre de différents grammages sont néanmoins employés de manière régulière dans le domaine de la restauration de peinture sur chevalet¹, ainsi que de la restauration de métal². A l'exception d'un article³ publié sur la consolidation « fil à fil » des déchirures sur des calques à l'aide de fibres de verre, aucune étude n'a été menée sur leur potentiel en restauration en livre. Pourtant, par plusieurs aspects, c'est un matériau aux propriétés intéressantes et au coût faible : sa diversité de forme (tissus, fil, fibres coupées), de grammage, sa transparence, ses qualités mécaniques (résistance à la traction, à la flexion, stabilité dimensionnelle), sa résistance à de nombreux agents de dégradation potentiels (solvants et produits chimiques, lumière, attaques biologiques, température et chaleur) lui confère une grande stabilité ainsi qu'un vieillissement satisfaisant qui semble en faire un bon candidat pour un usage en restauration du patrimoine.

La fibre de verre⁴ est obtenue de la manière suivante : le verre fondu est filé à travers une filière qui contient des trous de 1 ou 2 mm de diamètre. Les filaments sont étirés à un diamètre final compris entre 5 et 15 µm, produisant une mèche de fibre de verre. « La fibre est une matière possédant une résistance à la rupture et souvent un module d'élasticité beaucoup

¹ La fibre de verre est employée pour des doublages. BOISSONNAS, 1961.

² Le tissu de fibre de verre, permet de consolider les structures métalliques fragilisées : CAZALS, 2012, MASSIOT, 2008.

³ GASSER, 2007.

⁴ Sur le sujet : MARTIN, 2008, COUDER et SIMON 2000, BATHIAS, 2005, GAY, 2005.

plus élevé que ceux du même matériau sous forme massive : sous la forme d'un filament fin, les propriétés d'un matériau sont beaucoup plus proches des valeurs théoriquement possibles que tout autre forme de matière, surtout en résistance à la rupture¹ ». Les fibres ainsi obtenues peuvent être travaillées pour obtenir un matériau de différente forme : enroulées sur des bobines elles peuvent être tissées comme des fibres textiles afin de former des tissus au grammage et à l'armure variable ; sous forme de fibres coupées, elles peuvent être employées avec une résine afin d'obtenir un produit semi-fini pouvant être moulé.

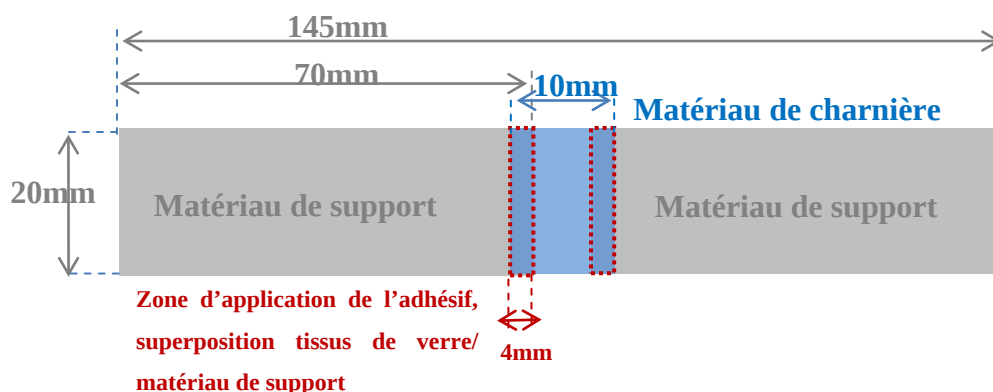
Afin de résoudre les problèmes de restauration posés par le manuscrit du quai Branly, notre étude s'est articulée en deux parties : d'une part la possibilité d'utiliser un couple adhésif-fibres de verre suffisamment résistant et flexible pour permettre le rattachement des plats par pose d'une seule charnière intérieure ; et d'autre part la possibilité d'employer le tissu de fibre de verre sous forme de stratifié pour obtenir un matériau compatible avec la peau de zébu pour le comblement de la lacune.

6. Recherche d'un couple adhésif-charnière pour le rattachement des plats

6.1. Choix de l'adhésif : protocole de test

Etant donné la sensibilité de la peau de zébu à l'eau, nous nous sommes orientés vers des adhésifs pouvant être dilués dans un alcool, capables de coller la fibre de verre, possédant un bon vieillissement et une réversibilité satisfaisante. Après essais préliminaires, deux acryliques couramment employés, la Lascaux®HV498 et le Paraloid®B72 ainsi qu'un adhésif à base d'un amide aliphatique, l'aquazol®500 ont été retenus pour tests supplémentaires, afin de déterminer leurs qualités et leur capacité à coller un matériau fibre de verre superposés sur une largeur de 3 à 4 mm avec un matériau peau dont les caractéristiques physiques et chimiques se rapprochent du matériau de couverture du manuscrit du quai Branly.

A partir d'éprouvettes simulant un rattachement de plat réalisées sur trois supports différents (cuir de veau pseudo-tanné à l'alun, un parchemin et une peau de cervidé salée-séchée) afin d'obtenir un synthèse de caractéristiques pouvant se rapprocher des qualités physiques et chimiques de la peau de zébu - en termes de rigidité, aspect de surface, épaisseur et traitement de stabilisation - les trois adhésifs retenus ont été testés en test de traction afin de déterminer leur résistance maximum à la traction et ainsi pouvoir les comparer entre eux. Les éprouvettes évaluées seront au nombre de quarante-cinq : dans le souci d'avoir la possibilité d'établir une moyenne des valeurs obtenues par type d'échantillon et type d'adhésif, cinq éprouvettes seront réalisées par catégorie.

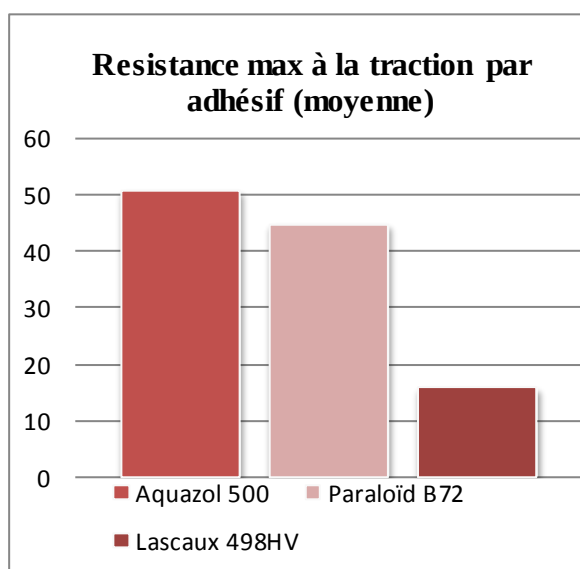


Modèle d'éprouvette pour les essais de traction

¹ BATHIAS, 2005, P.9.

6.2. Choix de l'adhésif : résultats

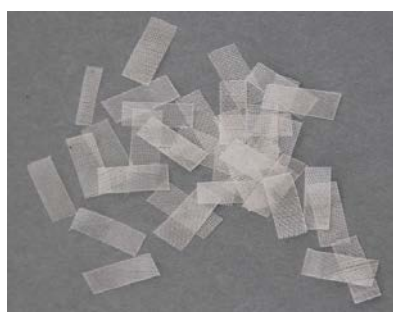
Dans l'ensemble des essais de traction adhésif- fibre de verre, la rupture s'est produite dans le film de l'adhésif, sans altérer le matériau original et valide pour ce paramètre la possibilité d'employer ces trois adhésifs sans risque pour le matériau d'origine. A titre de comparaison des tests de traction ont été effectués sur des éprouvettes avec charnière en papier japonais 19g/m² (RK17, 100% kozo) collée avec les trois adhésifs cités précédemment. Quel que soit l'adhésif employé, la rupture se fait toujours dans le papier japonais, avec une moyenne relativement faible de 20N, comparativement aux résultats obtenus le Paraloid® B72 et à l'Aquazol®500. Ce test permet de confirmer la plus grande résistance mécanique des fibres de verre par rapport à un papier japonais de grammage équivalent.



La Lascaux®HV498 a été éliminée d'office de par ses résultats faibles tandis que l'Aquazol®500 et le Paraloid®B72 ont obtenu un comportement à la rupture et des valeurs proches ne pouvant les discriminer. Néanmoins notre choix s'est porté sur le Paraloid®B72, dont l'utilisation dans le domaine de la restauration bénéficie d'un retour sur expérience plus important que celui de l'Aquazol®. Le matériau de charnière sera ainsi préencollé à l'aide de Paraloid®B72 à 20 % dans l'éthanol et simplement réactivé à l'éthanol avant pose sur le matériau original afin de limiter la pénétration de l'adhésif dans la peau de zébu ainsi que la quantité d'adhésif apporté.

6.3. Choix du matériau de charnière : protocole de test

Le choix de l'adhésif ayant été réalisé, nous avons établi un protocole de test permettant de déterminer l'évolution du matériau de charnière. Cette modélisation avait pour objectif de reproduire les conditions d'utilisation auxquelles le manuscrit du quai Branly pourra être soumis au cours de sa vie muséale, de manière à pouvoir évaluer la perte de résistance des deux matériaux de charnière à tester (tissu de fibre de verre 20g/m² et fibre de verre coupée) au cours du temps et de leur utilisation, avec une capacité satisfaisante de résistance aux diverses tensions auxquelles le système va être soumis. Le mouvement répétitif subi par le mors – un pliage de manière répétée d'un angle de 90° à un angle large de 120° qui s'opère lors de la consultation du volume sera ainsi modélisé.



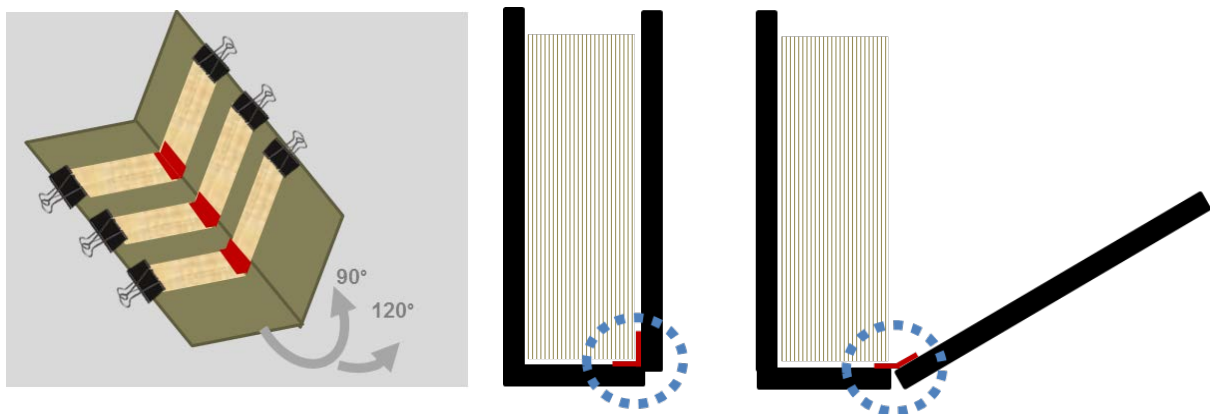
Tissu de verre 20g/m² coupé en agrafe



Fibres de verre coupées

Un nombre important d'ouverture et fermeture du livre devrait induire une fatigue du matériau de charnière : ainsi la comparaison des valeurs de la résistance de la charnière avant et après sollicitation mécaniques devrait permettre d'obtenir une idée générale sur la manière dont les fibres de verre vont évoluer dans le temps. La résistance à l'ouverture des éprouvettes est mesurée une première fois avant sollicitation mécanique¹ : une partie de l'éprouvette est attachée de manière verticale à un support, à l'aide d'une pince à dessin, de manière à ce que la seconde partie (libre) de l'échantillon puisse pivoter autour de l'axe vertical du mors. La partie libre de l'échantillon est reliée à un fil permettant de l'ouvrir par le biais d'un levier. Un contenant de faible masse est suspendu au levier via un mécanisme de poulie : peu à peu une masse sous forme de sel de table² est ajoutée dans le contenant, jusqu'à ce que l'échantillon et son mors forment un angle de 90°. Le contenant est ensuite pesé sur une balance de précision, la masse enregistrée étant proportionnelle à la résistance à l'ouverture de l'échantillon. Trois mesures sont réalisées pour un même échantillon, afin de s'assurer de la cohérence des valeurs ainsi mesurées.

Les éprouvettes sont ensuite fixées à un berceau permettant de reproduire le mouvement d'ouverture et de fermeture subi par le mors lors de la consultation du volume. 600 mouvements sont réalisés, correspondant à l'utilisation moyenne estimée pour le manuscrit du quai Branly pour une période à venir de 100 ans. La résistance à l'ouverture des éprouvettes est de nouveau mesurée, après fatigue des éprouvettes, selon la méthode précédemment décrite.



Le berceau réalisé modélise le mouvement d'ouverture et de fermeture du volume

6.4. Choix du matériau de charnière : résultats

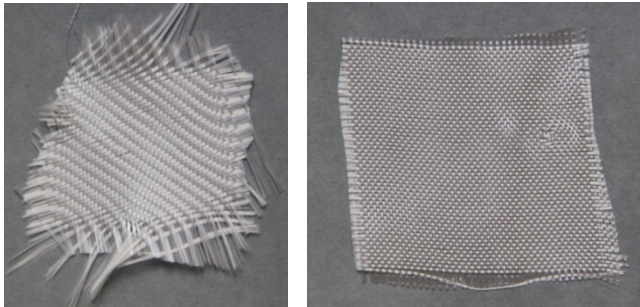
La comparaison des valeurs avant et après sollicitation mécanique permettent d'obtenir le facteur de perte de résistance des matériaux : il est de 24.3 % pour les fibres de verres coupées et de 8.6% pour tissu de verre. En raison de sa souplesse, de sa résistance mécanique et de son évolution dans le temps satisfaisant le tissu de verre a été retenu pour le rattachement des plats.

¹ La méthode de mesure employée est décrite par DORNING, 2005, P.27.

² Le sel est employé car il peut être ajouté en très faible quantité de manière très précise et contrôlée.

7. Recherche d'un matériau stratifié pour le comblement du dos

7.1. Choix du matériau de comblement : tests préliminaires



Tissu de verre 153g/m² et 60g/m² employés pour l'étude

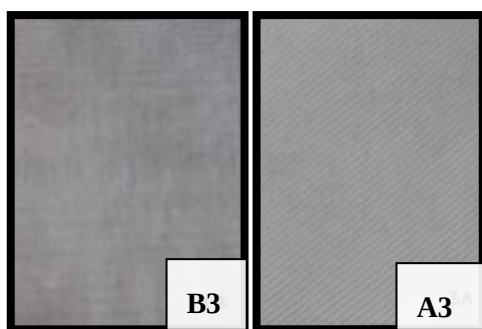
Pour cette étude, deux tissus de fibre de verre, ont été retenus : tous deux composés de verre E, ils possèdent respectivement un grammage de 153g/m² et 60g/m². Le tissu de fibre de verre 153gr/m² possède un tissage formant des diagonales dont l'armure est proche du sergé tandis que le 60g/m² fait état d'une armure toile régulière et homogène dans le sens trame et chaîne. A titre de comparaison des stratifiés de papier

japonais 29g/m² collées à l'amidon de blé seront également réalisés. Différentes combinaisons ont été testées en faisant varier les matériaux utilisés - papier japonais, tissus de fibre de verre ainsi que le nombre de couches de matériaux employés pour la constitution du stratifié, tous collés à l'aide de Paraloid® B72 dilué à 20% à parts égales acétone/ éthanol.

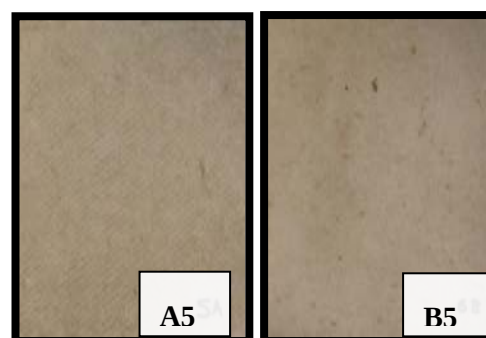
7.2. Choix du matériau de comblement : résultats des tests préliminaires

Nous avons ensuite évalué pour chaque stratifié ses caractéristiques physiques : épaisseur, stabilité dimensionnelle, planéité, capacité à se courber et à revenir en position de départ ainsi que ses qualités visuelles : aspect, texture et couleur.

L'ensemble des éprouvettes de stratifiés fibre de verre et stratifiés mixtes présentent des couches constitutives ayant parfaitement adhéré entre elles. Selon le nombre de plis, la flexibilité varie de manière notable quand une pression est exercée à la main de part et d'autre de l'éprouvette, mais cette dernière revient en position initiale sans s'altérer. Le tissu 153g/m² semble avoir une flexibilité préférentielle dans la diagonale, caractéristique probablement due à son tissage, rendant relativement hétérogène son élasticité selon la direction considérée. Il semblerait que le tissu de fibre de verre 60g/m², dont l'armure toile permet une certaine homogénéité d'élasticité dans toutes les directions, devrait être préférentiellement utilisé. D'un point de vue visuel, les fibres, complètement imprégnées par l'adhésif ont gagné en transparence : elles présentent une couleur très blanche et un tissage visible pour les stratifiés fibre de verre, qui en l'état n'est pas satisfaisant pour une réintégration esthétique. Les stratifiés mixtes papier japonais et tissu de fibre de verre présentent une couleur, une légère brillance et une translucidité étonnement proche de celle du parchemin, qu'il semble intéressant d'exploiter.



Stratifiés de tissu de fibre de verre 60g/m² et 153g/m²

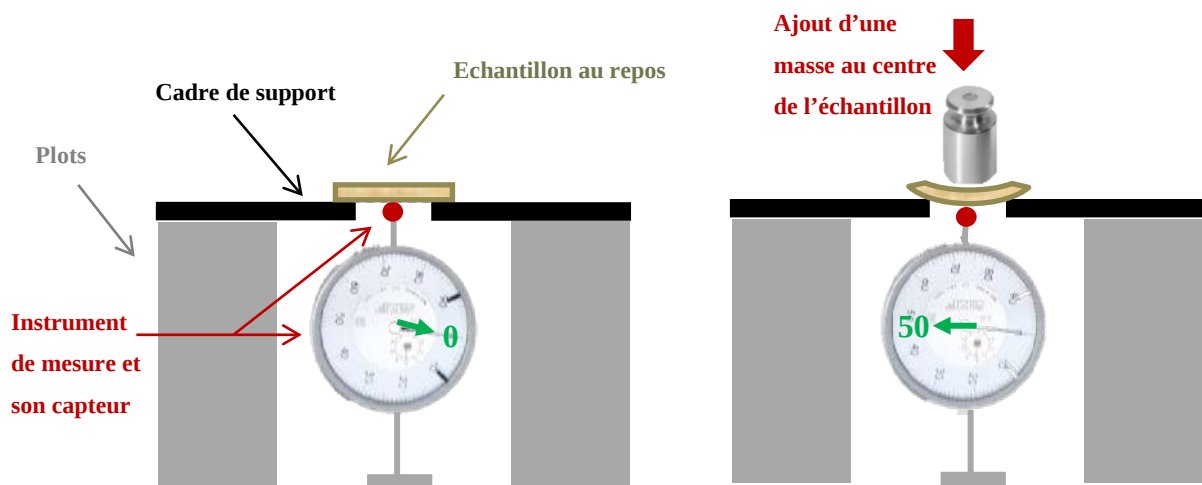


Stratifiés mixtes tissu de fibre de verre 153g/m² ou 60g/m² et papier japonais

Les stratifiés en papier japonais ont une mise en œuvre simple, permettant d'employer un adhésif naturel végétal à base d'eau permettant une bonne cohésion entre les différents plis. Cependant, d'un point de vue physique, lorsque les éprouvettes sont soumises à une flexion, elles ont tendance à se plier et ne pas revenir à leur position d'origine, laissant des « fissures » à leur surface. Leur instabilité dimensionnelle et sensibilité aux fluctuations du climat pose problème : malgré un séchage contrôlé sous poids, après quelques jours à l'air libre, les éprouvettes se déforment et perdent leur planéité originale. Compte tenu du cahier des charges spécifique au manuscrit du quai Branly, ce matériau devrait idéalement ne pas être utilisé.

7.3. Choix du matériau de comblement : tests physiques

Etant donné l'importance des caractéristiques physiques du comblement, leur capacité à se courber a été calculée. Un montage simple a permis de mesurer la Flèche, c'est à dire l'abaissement de l'échantillon en un point lorsqu'une masse donnée est posée en son centre : l'échantillon est posé sur un cadre de support surélevé sur des plots, dont le centre a été évidé afin de créer un trou rectangulaire. Cette découpe, de dimension légèrement plus petite que celle des éprouvettes, permet de faire reposer ces dernières sur une largeur de 0.5 mm sur chacun de ses cotés. Un comparateur est positionné sous l'éprouvette. Le capteur est mis en contact avec le centre de l'échantillon préalablement repéré et le compteur de l'instrument de mesure mis à zéro. Une masse de 500 g est posée sur l'éprouvette, en son centre, provoquant sa flexion : il se courbe progressivement vers le bas. Le capteur s'abaisse en même temps que l'éprouvette fléchi et mesure à 0.1 mm près la flèche en un point de l'échantillon, c'est-à-dire l'abaissement de ce point, indiqué sur le cadran. La mesure est répétée trois fois afin de pouvoir établir une moyenne et vérifier que les réponses sont cohérentes. A partir de la flèche, le module d'Young a été obtenu par calcul.



Montage pour le calcul de la flèche

7.4. Choix du matériau de comblement : résultats

Les valeurs obtenues ont été comparées avec celles du matériau original. Notre choix s'est porté sur le stratifié B5 composé de 8 couches de tissu de fibre de verre 60g/m^2 alternant avec 8 couches de papier japonais 29g/m^2 . Celui-ci a en effet témoigné d'une grande compatibilité en termes d'épaisseur et d'élasticité avec la peau de zébu.

8. Des tests à la pratique : la restauration du manuscrit du quai Branly

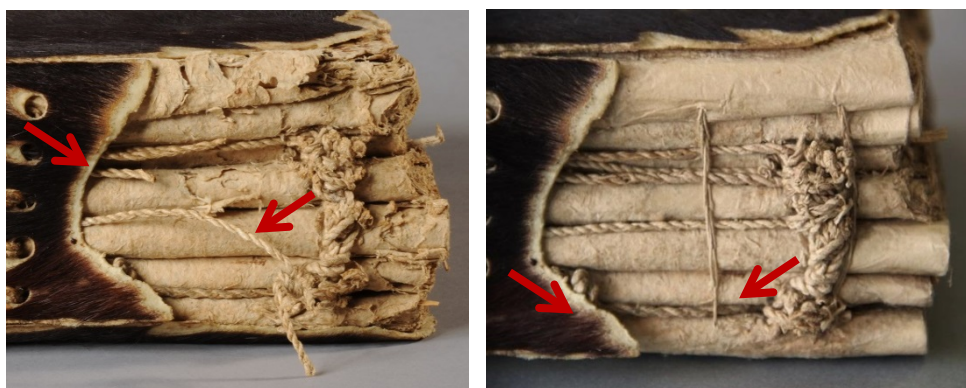
8.1. Traitement du corps d'ouvrage

Après un dépoussiérage au pinceau doux, les fonds de cahiers ont été traités : les altérations susceptibles de se dégrader davantage ont été stabilisées et les lacunes comblées in situ au cas par cas, sans démontage des feuillets, à l'aide de trois couches de papier japonais préalablement teinté à la peinture acrylique. Les déchirures, lacunes et affaiblissement du corps d'ouvrage ont été stabilisés au cas par cas, selon leur position sur le feuillet à l'aide de papier japonais fin. Afin d'éviter tout risque de perte, les éléments détachés du manuscrit ont été montés sur onglets de papier japonais puis fixés entre les pages du manuscrit, en veillant à respecter leur emplacement original, constaté à l'arrivée du manuscrits dans l'atelier.



Dos du manuscrit avant et après comblement des fonds de cahiers

Afin d'assurer un relais à la dernière section de couture, nous avons réalisé une couture de renfort de part et d'autre de la section de couture d'origine. La réalisation de cette couture de chaînette basées sur la méthode de couture copte a permis de resolidariser les cahiers entre eux et de les réaligner. La couture de renfort prend maintenant en charge une partie des tensions exercées à l'ouverture du volume et allège ainsi celles exercées sur la couture originale. C'est sur ces deux sections de couture, éloignées l'une de l'autre de quelques centimètres pour une meilleure répartition des tensions que le comblement du dos pourra être rattaché par couture. Les fils de la couture secondaire sont rompus et risquent de glisser en déreliant davantage la couture secondaire. Les fils les plus courts ont été prolongés à l'aide de papier japonais préalablement teinté et torsadé en deux brins. L'ensemble des fils rompus ont été stabilisés sur la dernière section de couture à l'aide d'un fil de lin.



8.2. Traitement de la couverture : comblement du dos

Pour que le rôle mécanique du comblement soit effectif, le corps d'ouvrage doit être relié au matériau de comblement. Ce paramètre implique la réalisation d'une nouvelle couture et la modification conséquente de l'apparence du dos du manuscrit. Ce parti pris esthétique implique un degré d'interprétation très important puisqu'il suppose le perçage de trous à la surface du comblement pour accommoder le fil de couture, ainsi qu'un passage du fil de couture visible. Cette première option ne paraissant pas satisfaisante, une altérative plus neutre a été discutée : le traitement sera réalisé de manière à obtenir un comblement final « en plein », lisse, sans couture ni trous apparents. Le comblement sera ainsi composé de deux stratifiés qui seront assemblés entre eux. Le premier stratifié, composé de six couches de tissu de verre 60g/ m² alterné avec six couches de papier japonais 29g/m² sera percé d'une série de doubles trous et assurera une fonction mécanique en étant rattaché au corps d'ouvrage. Le second comblement, composé de deux couches de tissu de verre 60g/m² et de deux couches de papier japonais en plein permettra de dissimuler la couture en rendant le comblement plus neutre et permettra d'obtenir la flexibilité voulue pour le stratifié.



La peau de zébu de couverture présente sur le dos une déformation qui ne peut être résorbée et que le matériau de comblement devra suivre harmonieusement afin de ne pas créer de nouvelles tensions différentielles. A ces fins, l'empreinte de cette courbe a été prise à l'aide de plastiline®, une pâte à modeler de précision. Le premier stratifié a été ensuite réalisé sur ce moule. Une fois sec, le stratifié a été façonné à la forme et aux dimensions de la lacune. Puis nous avons défini l'emplacement des trous sur le comblement en nous inspirant des trous existants et de l'emplacement de la couture de renfort.

Le comblement est ensuite rattaché au corps d'ouvrage, en veillant dans un premier temps à garder la couture très lâche pour une vision optimale des cahiers et des sections de couture sur le dos du manuscrit. Une fois finie, la couture est serrée en veillant au bon positionnement du stratifié par rapport au dos du manuscrit.



Le second stratifié est façonné sur le moule réalisé à la courbure du dos du volume suivant la même méthodologie que le premier stratifié puis minutieusement ajusté après séchage. Il est ensuite encollé à l'aide de Paraloid® B72 dilué à 20% dans un mélange à parts égales éthanol-acétone. La zone du rectangle central - où le second comblement sera en contact avec la couture de la couverture - n'a pas été encollée de manière à ce que le fil ne reçoive pas d'adhésif et que la couture puisse bouger et rester mobile lors de l'ouverture du volume. Les

coins inférieurs situés du côté du mors sont lacunaires et introduisaient une discontinuité visuelle entre le dos et le plat, en plus de limiter le rattachement des plats sur quelques centimètres : ils ont été comblés à l'aide d'un stratifié papier japonais fibre de verre d'épaisseur égale au matériau original façonné à l'exacte forme de la lacune et adhérent à l'aide de Paraloid®B72 dilué à 20% dans l'éthanol.

Les plats ont été rattachés à l'aide du couple adhésif-charnière définis dans l'étude scientifique : de petites agrafes de tissu de verre 20g/m² préencollées à l'aide de Paraloid®B72 à 20% dans l'éthanol ont été juxtaposées le long du mors intérieur du plat supérieur et inférieur. Afin de mieux intégrer visuellement la restauration, une charnière de papier japonais fin a été posée sur les mors extérieurs et intérieur puis mis au ton, tout comme le matériau de comblement à l'aide de glacis successifs de peinture acrylique.



Avant et après réalisation de la couture de renfort et stabilisation des fils de la couture secondaire

Bibliographie sommaire

- BATHIAS (coll.), 2005, Matériaux composites, Paris, Dunod, L'Usine nouvelle.
- BEAUJARD, P., 2007, Les manuscrits arabico-malgaches in Coran et talisman, dirigé par C. Hamès, Karthala, Paris.
- CONN, 1996, Board Reattachment for Circulating Collections Book & paper annual vol. 15.
- DORNING, D., 2005, The development of a testing method for assessing book joint repair in The paper conservator, vol. 29, P25-38.
- DOWN, 2009, Poly(vinyl acetate) and acrylic adhesives: a research update in Holding it all together (édité par J. Ambers), P. 91-98.
- FLACOURT, E., 1995, Histoire de la grande île Madagascar, Paris, Karthala.
- GASSER, 2007, Transparent paper, a new method of tear mending in paper restaurierung, vol. 8, N°4.
- LACOURTIADÉ, 2013, Étude et conservation-restauration d'un manuscrit arabico-malgache sorabe conservé au musée du Quai Branly, Paris. Mémoire de fin d'études, INP.



GS Fine Arts

Restaurateurs d'œuvres d'art
**Êtes vous sûr de bénéficier des assurances
dont vous avez besoin ?**



GS Fine Arts

**La question de votre couverture
assurantielle ne doit pas
être ignorée !**

- Evolution des politiques publiques
- Pression des marchés
- Désengagement de l'état
- Diminution des budgets
- Mutation des pratiques artistiques
- Evolutions de votre métier
- Exercice d'expertises particulières
- Augmentation des responsabilités
- ...

Au moment où les collections institutionnelles ou privées engagent de plus en plus votre responsabilité, **votre couverture assurantielle devient une condition nécessaire de votre profession.**

Votre contact : Camille Tuffal

Tel. 01 41 43 55 79 - camille.tuffal@grassavoie.com

Solutions Gras Savoye Fine Arts

**Pour
vous,
Pour vos
Clients !**

Assurance de l'**atelier**
Assurance des **œuvres d'art**
Responsabilité civile professionnelle



GS Fine Arts

**Courtier n°1
auprès des professionnels de l'art
depuis 1974**

Nous mettons à votre service notre expertise et notre connaissance du marché de l'assurance pour négocier **des couvertures sur mesure et 100% conformes aux spécificités de votre métier, à vos besoins et aux besoins de vos clients.**

Gras Savoye Société de courtage d'assurance et de réassurance
Siège social : Immeuble Quai 33 - 33/34 quai de Dion Bouton - CS 70001 - 92 814 Puteaux Cedex. Tél. 01 41 43 50 00 - Télécopie 01 41 43 55 55.
<http://www.grassavoie.com> Société par actions simplifiée au capital de 1 432 600 euros. 311 248 637 R.C.S. Nanterre N° FR 61 311 248 637.
Intermédiaire immatriculé à l'ORIAS sous le N° 07 001 707. (<http://www.orias.fr>).
Sous le contrôle de l'ACPR, Autorité de Contrôle Prudentiel et de Résolution. 61, rue Taitbout 75436 Paris Cedex 9.



LAMOA Expertise - www.lamoa.fr Laboratoire d'Analyse des Matériaux et des Objets d'Art

Etude / Recherche / Conseil :
Patrimoine - Restauration - Conservation -
Marché de l'Art - Authentification - Datation - Fraude -
Avaries des biens mobiliers et immobiliers - Industrie -

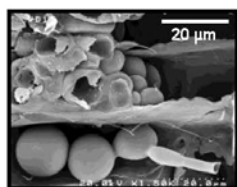
Fruit de 20 ans d'expérience en microanalyse des matériaux du Patrimoine, LAMOA Expertise met son métier et son savoir-faire à votre service :

- ✦ Aide au diagnostic, à la compréhension et/ou à l'intervention (Restauration)
- ✦ Mise en œuvre des techniques et méthodes de l'**Archéométrie**
- ✦ Caractérisation et **Microanalyse des matériaux anciens et modernes** par microscopie électronique et méthodes physico-chimiques
- ✦ Etude de l'impact de l'environnement sur les matériaux, des phénomènes d'**altération** et du **vieillessement**
- ✦ Approche innovante sur l'analyse de la **bioaltération** (micro-organismes)
- ✦ Contribution à l'**authentification** des objets d'art et à l'étude des falsifications

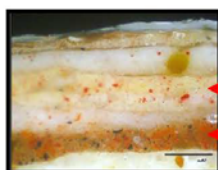
et offre un **service de recherche documentaire spécialisée** dans le Patrimoine Culturel.



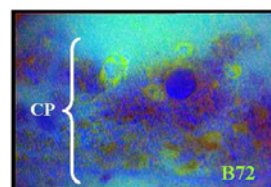
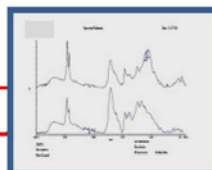
Microscope électronique à balayage MEB



Etude spécifique de la bioaltération et de l'impact des micro-organismes



Analyse des liants des couches picturales en stratigraphie par microspectroscopie Infrarouge



Profondeur de pénétration d'un produit consolidant observée en fluorescence UV

LAMOA Expertise - Marie-Pierre ETCHEVERRY Mail : contact.lamoa.exp@gmail.com
Siret : 530 774 116 00012 - APE : 7120B (TVA non applicable, art. 293B du CGI) - Tél : +33 (0)6 68 90 83 95.

MISE AU POINT D'UNE METHODOLOGIE D'ANALYSE PERMETTANT D'IDENTIFIER LES COLLES ANIMALES EN RESTAURATION

Delphine ELIE-LEFEBVRE et Daniel J. HARTMANN

Dans un but de restauration d'une œuvre de mobilier il est souvent nécessaire de proposer des recollages tout en conservant la colle ancienne. Pour ce faire une analyse de la colle utilisée est indispensable. Ces colles sont le plus souvent d'origine animale.

En France, dans les laboratoires de recherche du patrimoine, les colles sont actuellement analysées par chromatographie en phase gazeuse et en phase liquide. Le chromatogramme des différents acides aminés renseigne sur les pourcentages d'acides aminés présents. Cette technique permet de différencier avec certitude des protéines comme le collagène (gélatine), la caséine ou l'albumine.

La chromatographie en phase gazeuse (GC), couplée à la spectrométrie de masse (MS) après pyrolyse est l'un des systèmes analytiques les plus performants utilisés pour la séparation et l'identification des matières organiques. Cette technique donne accès aux quantités des différents acides aminés ainsi que leur rapport, mais ne permet pas de définir l'origine animale des protéines dans le cas des collagènes en particulier (exemple : collagène de bœuf et collagène de poisson non différenciés).

Notre travail a eu pour but de développer une technique immunologique permettant l'identification des différents collagènes constituant les colles.

1. Les colles animales

Jusqu'à nos jours, la plupart des colles utilisées en ébénisterie sont des colles animales. En effet, les intérêts de ces colles sont la réversibilité, la bonne résistance au vieillissement (surtout dans le cas de collage bois-bois), et leur panel de propriétés physiques. Ainsi, en fonction de la nature du collagène utilisé, on observe qu'une colle de nerf de bœuf est plus souple et possède un pouvoir collant moins important qu'une colle d'os de bœuf.

Les colles animales sont composées le plus souvent de collagène et/ou de gélatine [Keghel, 1949]. Le collagène est une glycoprotéine sécrétée par de nombreux types cellulaires. Très résistant à la traction du fait de sa structure en triple hélice (fig. 1) il est le principal composant des tissus conjonctifs comme le cartilage, les ligaments, les tendons, les os et la peau. En fonction de la séquence d'acides aminés et de la structure tridimensionnelle de la molécule, on en rencontre plusieurs types.

Les principaux types de collagène qui entrent dans la fabrication des colles sont :

- le collagène de type I, le plus abondant, présent dans le derme, les tendons, le tissu osseux.
- le collagène de type II, présent dans le cartilage.
- le collagène de type III, présent dans la peau, les muscles et les parois vasculaires.

La gélatine est obtenue par hydrolyse partielle du collagène extrait de la peau, des os, du cartilage ou des ligaments après chauffage et traitement acide (ou basique) qui rompt les liaisons intra-moléculaires reliant les chaînes de collagène entre elles. La gélatine se liquéfie

lorsqu'elle est chauffée et se solidifie lorsqu'elle est refroidie. Mélangée à de l'eau, elle forme un gel colloïdal semi-solide.

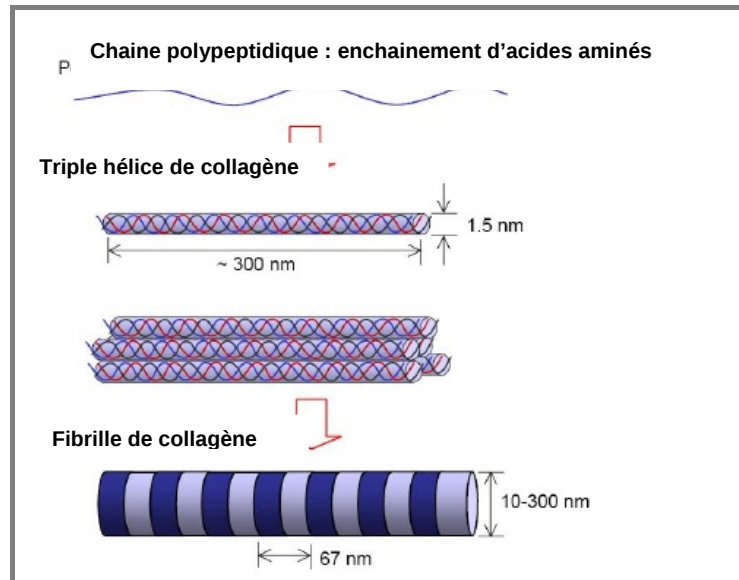


Fig. 1 : Structure primaire, secondaire, tertiaire et quaternaire du collagène (mesures en nanomètre = 10^{-6} mm)

© www.azonano.com

Les méthodes existantes permettant d'avoir des informations sur la nature des collagènes et des gélatines sont les suivantes :

- le séquençage de l'A.D.N est une technique complexe, réservée à des laboratoires spécialisés. Cette méthode n'est utilisée que très occasionnellement et n'est pas envisageable car elle est onéreuse.
- le MALDI - TOF - MS est un spectromètre de masse couplant une source d'ionisation laser assistée par une matrice spécifique et un analyseur à temps de vol. L'analyse et l'interprétation des résultats sont complexes. Cette méthode se développe progressivement aux Etats-Unis pour la détermination des protéines présentes dans les œuvres d'art [Kirby, 2011]. En France, les laboratoires de recherche du patrimoine ne possèdent pas encore cette technique, qui, bien que très intéressante, ne pourra être utilisée que difficilement en routine en raison de son coût.
- la technique Enzyme Linked Immuno Sorbent Assay (E.L.I.S.A.), est une méthode immunoenzymatique très utilisée par les laboratoires d'analyses médicales et en agroalimentaire. Rapide et peu onéreuse, elle n'avait pas été encore appliquée en France pour caractériser les colles animales utilisées en restauration.

2. La technique E.L.I.S.A.

L'ELISA (Enzyme Linked Immuno-Sorbent Assay) a été développé par Peter Perlmann et Eva Engvall en 1971.

2.1. Quelques notions d'immunologie

Basée sur des réactions immunologiques, la technique ELISA permet de reconnaître de façon spécifique une molécule recherchée dans un mélange grâce à l'utilisation d'anticorps dirigés contre cette molécule.

L'injection d'une molécule immunogène (corps étranger) chez un vertébré entraîne la synthèse d'anticorps¹ spécifiques.

La réaction entre l'antigène² et l'anticorps est une association de deux séquences d'acides aminés entre le paratope³ et l'épitope⁴, nécessitant une bonne complémentarité stérique entre les deux sites réactifs (fig. 2). C'est une réaction exothermique spécifique et réversible. L'antigène lié à l'anticorps forme un complexe immun (fig. 2 et 3). Les liaisons mises en jeu dans cette association sont non covalentes (liaisons hydrogènes, liaisons électrostatiques, forces de Van der Waals et liaisons hydrophobes...) bien que très fortes.

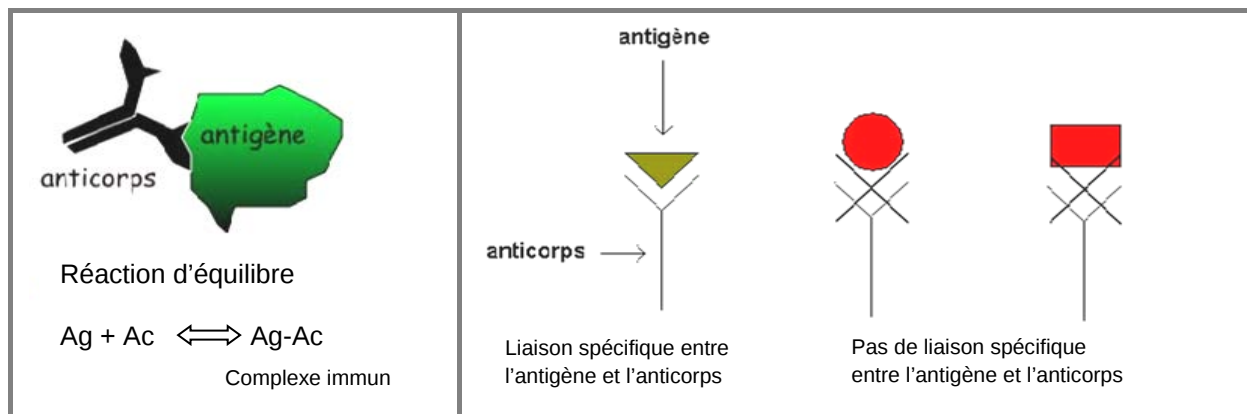


Fig. 2 : Schématisation d'une réaction antigène-anticorps

Fig. 3 : Schématisation de la spécificité de la réaction antigène-anticorps

2.2. Description de la technique ELISA

L'ELISA est une technique immunologique très utilisée dans les laboratoires d'analyses médicales ayant pour but de détecter la présence d'un antigène (Ag) ou d'un anticorps (Ac) dans un échantillon. De nos jours, la plupart des analyses de routine est automatisée.

¹ Anticorps : protéine complexe utilisée par le système immunitaire pour détecter et neutraliser les agents pathogènes de manière spécifique, est abrégé par Ac

² Antigène : toute substance capable de se lier spécifiquement à un anticorps, est abrégé par Ag

³ Paratope : structure qui se lie à l'épitope de l'antigène

⁴ Epitope : structure reconnue qui se lie au paratope de l'anticorps. Une protéine peut contenir plusieurs dizaines d'épitopes identiques ou le plus souvent différents

C'est un dosage immuno-enzymatique dans lequel un des réactifs (antigène ou anticorps) est immobilisé sur un support plastique. La réaction antigène-anticorps (Ag-Ac) est visualisée de manière directe ou indirecte grâce à une réaction colorée produite par l'action, sur un substrat, d'une enzyme préalablement fixée sur le premier ou le second anticorps.

Historiquement la technique a été initialement développée pour analyser la sérologie d'un patient afin de révéler la présence ou non de l'anticorps anti-micro-organisme recherché. La technique ELISA, couramment effectuée pour des contrôles de routine ou en recherche et développement (R&D) dans de nombreux laboratoires académiques ou industriels a été également adaptée pour la détection des antigènes.

- *Détection directe de la liaison antigène-anticorps (fig. 4)*

Après « coating » de l'antigène d'intérêt sur une plaque en polystyrène et incubation avec l'anticorps spécifique couplé à une enzyme (péroxydase), le complexe immun formé (Ag-Ac) est révélé par un substrat chromogène (DAB). La réaction colorée brune est évaluée par absorptiométrie ou spectrophotométrie (substrat chromogène) grâce à un lecteur de microplaques.

- *Détection indirecte de la liaison antigène-anticorps (technique utilisée à Novotec) (fig. 5 et 6)*

La révélation du complexe s'effectue de manière indirecte grâce à l'utilisation d'un anticorps secondaire (dirigé contre le premier anticorps, anti-IgG le plus souvent) marqué par une enzyme.

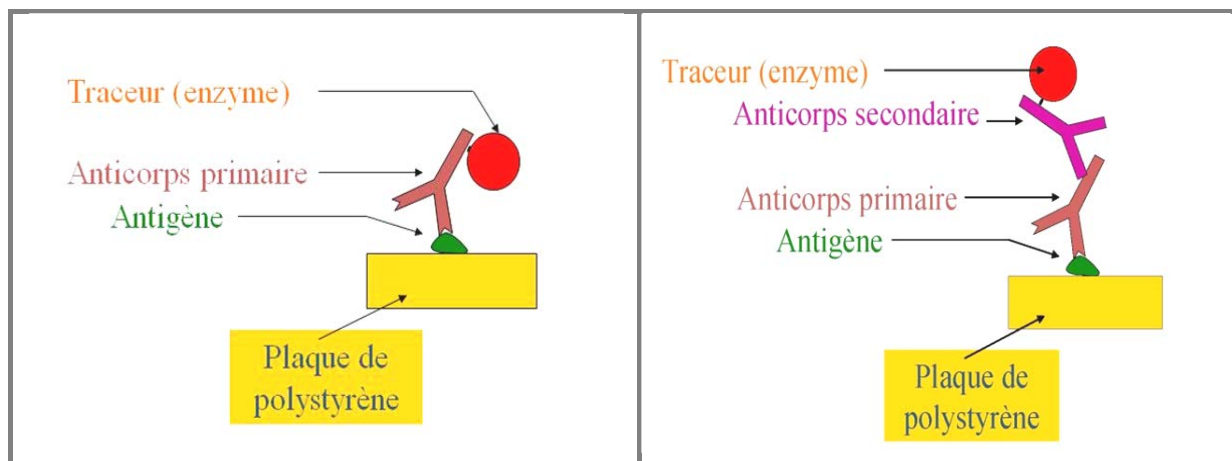
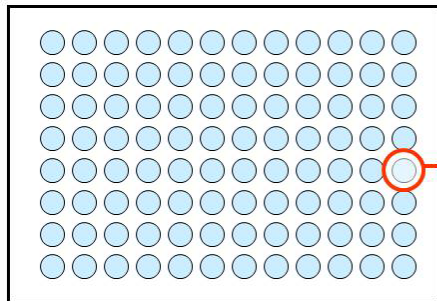


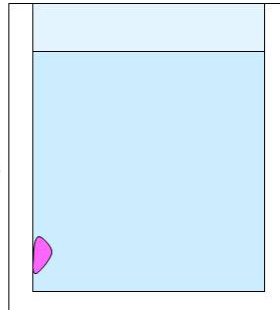
Fig. 4 : Schéma de la technique ELISA directe
© D. Elie-Lefebvre

Fig. 5 : Schéma de la technique ELISA indirecte
© D. Elie-Lefebvre

ELISA indirect (dosage indirect d'un Ag)

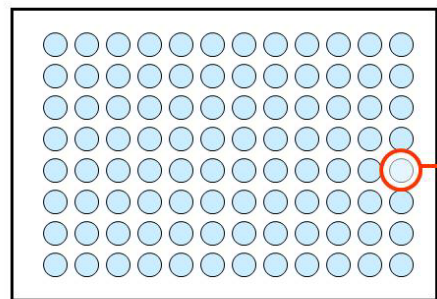


Plaque de microtitration

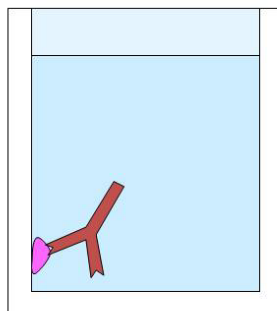


Première étape

**Habillage
(coating) avec
l'antigène**

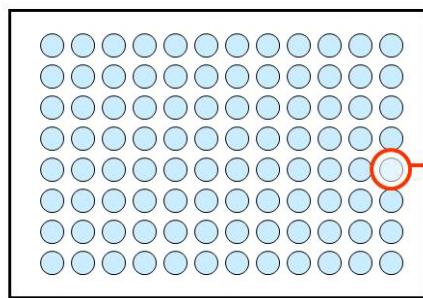


Plaque de microtitration

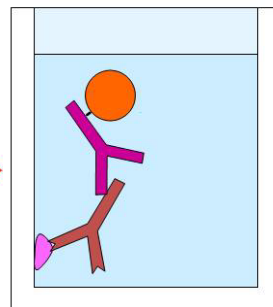


Deuxième étape

**Dépôt de
l'anticorps
primaire**

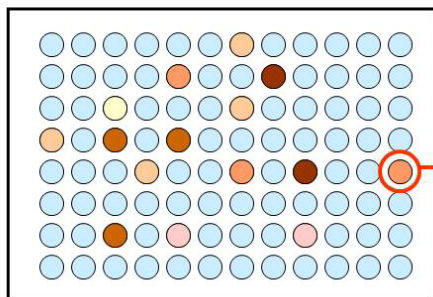


Plaque de microtitration

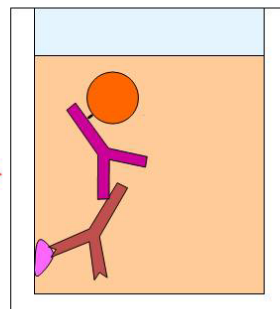


Troisième étape

**Dépôt de
l'anticorps
secondaire marqué**



Plaque de microtitration



Quatrième étape

**Révélation
enzymatique**

Fig. 6 : Les étapes d'une réaction ELISA indirect

2.3. Historique de la technique ELISA et son application dans la conservation et la restauration des biens culturels

Dès 1990, la technique ELISA a été utilisée en archéologie pour identifier des os, des traces de sang [Cattaneo et al., 1991 ; Scott et al., 1996].

Les travaux de Hodgins and Hedges (1998, 1999 et 2000) sur l'identification de colles animales anciennes, de cordes de violons et de parchemins ont apporté des éléments précieux à la recherche dans ce domaine. Ils ont démontré que la technique ELISA permettait de distinguer les collagènes de différentes espèces animales. Cependant, les réactions croisées inter-espèces sont nombreuses, il est donc conseillé de tester préalablement tout anticorps commercial. Ils ont également démontré que l'immuno-réactivité du collagène ne diminue pas après un vieillissement artificiel.

Au *J. Paul Getty Museum*, A. Heginbotham, V. Millay et M. Quick ont développé, en 2004, une technique ELISA pour identifier l'albumine d'œuf dans l'étude d'un cabinet d'A.-C. Boule du XVII^e siècle (lecture par immunofluorescence: IFM et actuellement par technique enzymatique) [Heginbotham et al., 2004]. En 2008, une autre équipe [Mazurek et al., 2008] a présenté un protocole pour détecter simultanément différents liants comme des collagènes, de l'ovalbumine et des gommes. Les résultats montrent que l'on peut identifier conjointement des protéines et des polysaccharides présents dans une même colle. La spécificité des anticorps est donc très importante.

Au *Metropolitan Museum of Art*, J. Arslanoglu et son équipe travaillent sur la mise en place de cette technique d'analyse au sein de leur laboratoire. Ils ont fait produire un anticorps spécifique du collagène d'esturgeon pour analyser les colles anciennes et actuelles utilisées dans les préparations des peintures. Ils analysent aussi des colles actuelles. Nous les avons rencontré et travaillé avec eux au cours d'un stage au *Metropolitan Museum of Art* de New York en 2011.

A la *HAWK (University of Applied Sciences and Arts Hildesheim)*, J. Shultz, après avoir collaboré au *Metropolitan Museum of Art* avec J. Arslanoglu, travaille aujourd'hui sur l'utilité et l'importance de ces techniques immunologiques pour analyser les œuvres d'art en Allemagne [Shultz et Petersen, 2011].

3. La technique ELISA au service de l'identification des colles animales

Lors d'un stage au C2RMF, Nathalie Balcar, ingénieur de recherche au laboratoire, connaissant les travaux d'Arlen Heginbotham au *J.P. Getty Museum* et notre formation de biologiste, a proposé d'étudier les possibilités de détermination des collagènes de colles d'ébénisterie par ELISA en France.

Grâce à NOVOTEC (TPE basée à Lyon), spécialiste dans la production d'anticorps anti-collagènes et intéressée par notre sujet, il a été possible de mettre en place un protocole de recherche en vue d'identifier par ELISA les collagènes présents dans les colles animales actuelles et anciennes.

La technique ELISA réalisée avec des anticorps spécifiques de type et d'espèce devrait permettre d'identifier rapidement la nature du (ou des) collagène(s) présent(s) dans les colles animales.

La production d'anticorps est une réponse à l'injection, dans une souris ou un lapin, d'une molécule de collagène de poisson par exemple, induisant la synthèse d'anticorps contre cet antigène. Les sérums contenant les anticorps, obtenus à partir de prélèvements de sang successifs, sont testés par ELISA, regroupés en un lot homogène, puis passés sur protéine A afin d'obtenir des IgG (immunoglobulines G) purifiées prêtes à l'utilisation.

Les composantes de base nécessaires à la détection et l'identification des collagènes sont :

- Un anticorps purifié reconnaissant un type de collagène ou un collagène spécifique d'une espèce
- Un anticorps secondaire conjugué à une enzyme (principalement phosphatase alcaline ou peroxydase)
- Un substrat spécifique sur lequel agit l'enzyme utilisée. Les produits issus de cette réaction présents dans les puits d'une plaque de polystyrène présentent une coloration (jaune, orange, rouge, bleue ...) dont l'intensité est mesurable dans un spectrophotomètre permettant ainsi de visualiser et de quantifier la réaction.

4. Protocole de recherche de sondes immunologiques en vue d'identifier les colles animales

4.1. La démarche

La technique ELISA pouvait-elle être une méthode fiable de détermination des protéines et plus précisément des collagènes présents dans le mobilier ?

La première étape était de sélectionner des anticorps spécifiques pour permettre la reconnaissance des collagènes et des gélatines.

La deuxième étape était de tester les anticorps spécifiques sur des colles de composition connue pour valider les sondes immunologiques donnant les meilleures réponses.

La troisième étape était de suivre l'évolution de l'immuno-réactivité en fonction du vieillissement des protéines. Les tests ELISA ont été effectués sur des colles actuelles non vieilles et vieilles artificiellement en enceinte climatique.

La quatrième étape était de connaître la limite de détection des analyses ELISA sur les colles animales, en testant des mélanges de colles actuelles, à différents pourcentages.

4.2. Sélection de différents anticorps

Novotec utilise la technique ELISA en routine pour mettre en évidence des gélatines dans les produits alimentaires et médicaux. En coopération avec l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, NOVOTEC produit ses propres anticorps spécifiques de type et d'espèce.

Ayant à notre disposition des anticorps commerciaux, mais surtout de nombreux anticorps de recherche, nous avons pu tester leur spécificité sur plusieurs échantillons. Par exemple, l'anticorps anti-gélatine de porc 105 reconnaît la gélatine de porc mais aussi la gélatine de poisson et de bœuf ; il n'est donc pas spécifique d'espèce (et sera indiqué par la suite sous le nom « anti-gélatine animale »).

Les recherches menées au *Getty Museum* et au *Metropolitan Museum of Art* ont montré un problème majeur, le manque de caractérisation des réactifs achetés à des distributeurs généralistes d'anticorps.

Les anticorps primaires testés ont été :

Les anti-collagènes⁵ commercialisés de NOVOTEC

- anti-cIB : Anticorps anti-collagène type I de bœuf, réf.20121.
- anti-cIIIB : Anticorps anti-collagène type III de bœuf, réf.20321.
- anti-cIPo : Anticorps anti-collagène type I de porc, réf.20191.
- anti-cITh : Anticorps anti-collagène type I de thon, réf.20171T.
- anti-cISau : Anticorps anti-collagène type I de saumon, réf.20171S.
- anti-cIRa : Anticorps anti-collagène type I de rat, réf.20141.
- anti-cISo : Anticorps anti-collagène type I de souris, réf.20151.
- anti-cIHu : Anticorps anti-collagène type I humain, réf.20111.
- anti-cIPou : Anticorps anti-collagène type I de poulet, réf.20131.

Les anti-gélatines : Ac de recherche

(les anti-gélatines sont théoriquement moins spécifiques que les anti-collagènes).

- anti-gelB : Anticorps anti-gélatine d'os de bœuf, 117 et 118.
- anti-gelPo : Anticorps anti-gélatine de peau de porc, 105, 115, 123 et 129.
- anti-gelTi : Anticorps anti-gélatine de tilapia (poisson), 106 et 107.
- anti-gelPan : Anticorps anti-gélatine de pangasius (poisson), 108 et 109.
- anti-gelMam : Anticorps anti-gélatine de mammifère, 121.

Ce sont des anticorps polyclonaux ; ils reconnaissent plusieurs épitopes de la molécule et permettent ainsi d'augmenter les chances de détection. Si l'anticorps doit être ultrasprécifique et ne reconnaître qu'un seul épitope, il faudrait préparer un anticorps monoclonal dirigé contre cet épitope avec le risque d'une perte d'affinité.

4.3. Lecture d'une courbe de titration.

La courbe de titration (fig. 7) représente la densité optique (axe vertical) de chaque puits (complexe immunitaire coloré et fixé sur la plaque), en fonction de l'inverse de la dilution de l'anticorps primaire (axe horizontal).

Pour obtenir une courbe de titration précise nous informant sur la réaction Antigène-Anticorps, il est important de faire de nombreuses dilutions de l'anticorps pour atteindre le seuil de détection et pour bien interpréter les résultats. La concentration d'antigène au départ est inconnue, bien que l'échantillon soit pesé et il peut y avoir d'autres molécules associées au collagène recherché. De plus, une concentration trop élevée d'antigène modifie l'encombrement stérique et peut fausser les résultats.

Remarques :

Plus l'affinité de l'anticorps pour l'antigène est importante, plus la courbe de la densité optique sera déplacée vers la droite.

De nombreux anticorps anti-collagènes spécifiques de type présentent des réactions croisées avec d'autres espèces, car les structures moléculaires sont très similaires d'une espèce à l'autre. Par exemple, sur une plaque ELISA le collagène I bovin peut-être reconnu par plusieurs anticorps anti-collagènes de type I d'espèces différentes (bovin, poisson, etc.). Les courbes obtenues seront différentes et permettront de choisir l'anticorps qui présente la meilleure affinité antigène-anticorps.

⁵ Voir www.novotec-labs.com

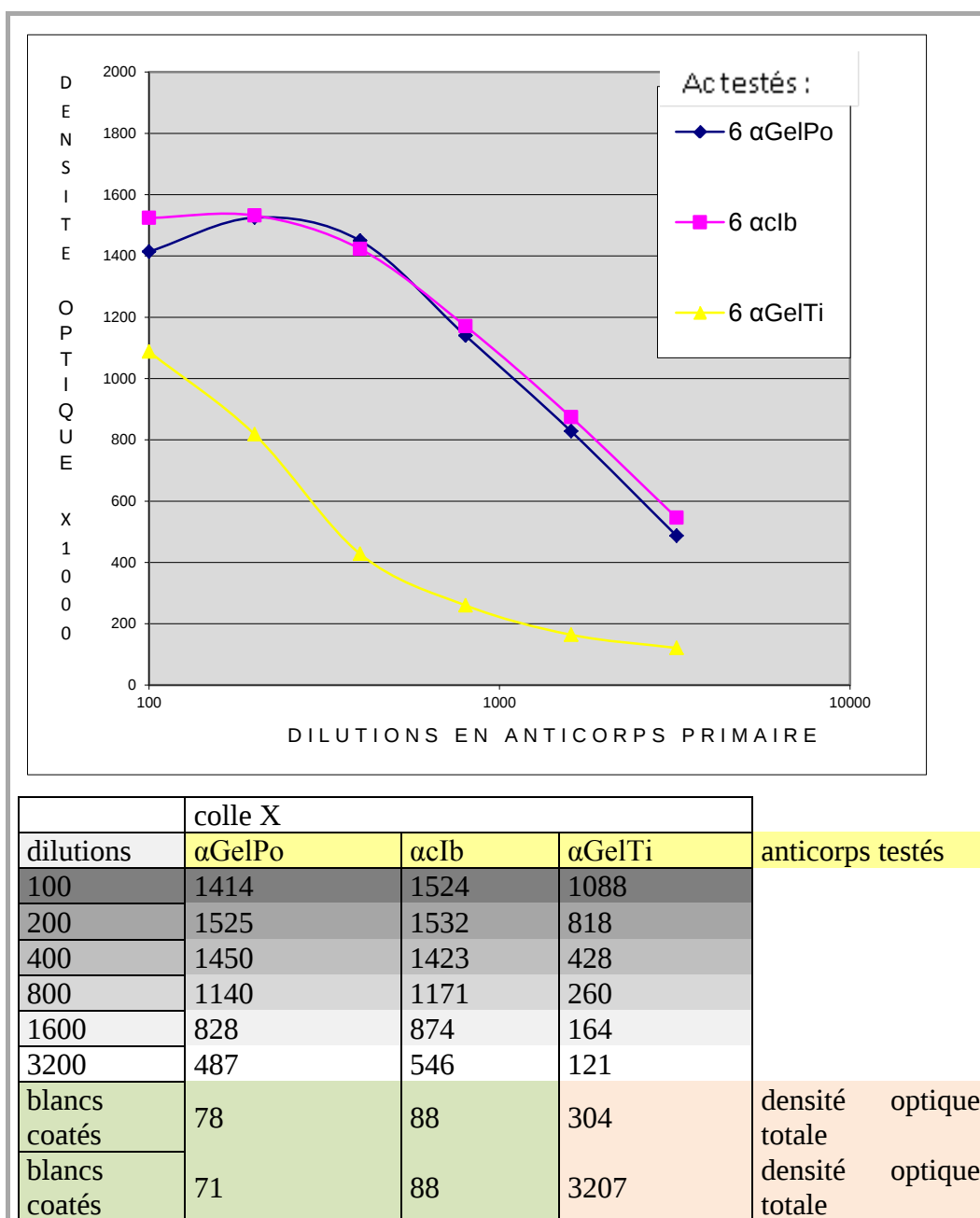


Fig. 7 : Représentation graphique d'une réaction ELISA : courbe de titration d'une colle X

Les courbes de titration en rose (anti-collagène I bovin) et bleu (anti-gélatine de porc) montrent une réaction forte, la courbe jaune (anti-gélatine de Tilapia) une réaction beaucoup plus faible. Ainsi **la colle X est reconnue fortement par l'anti-collagène de type I bovin natif ou l'anti-gélatine porcine et se classe ainsi dans les colles de mammifère.**

4.4. Etablissement d'un arbre décisionnel

Les étapes suivantes du protocole ont permis d'établir l'arbre décisionnel ci-dessous renseignant les différents anticorps sélectionnés pour répondre aux questions sur la nature du collagène en présence :

- Analyses des colles actuelles connues : validation ou non des anticorps sélectionnés.
- Analyses de colles actuelles vieilles et non vieilles : test du changement ou non de l'immuno-réactivité après vieillissement.
- Analyses de mélanges de colles actuelles : détermination de la limite de détection.

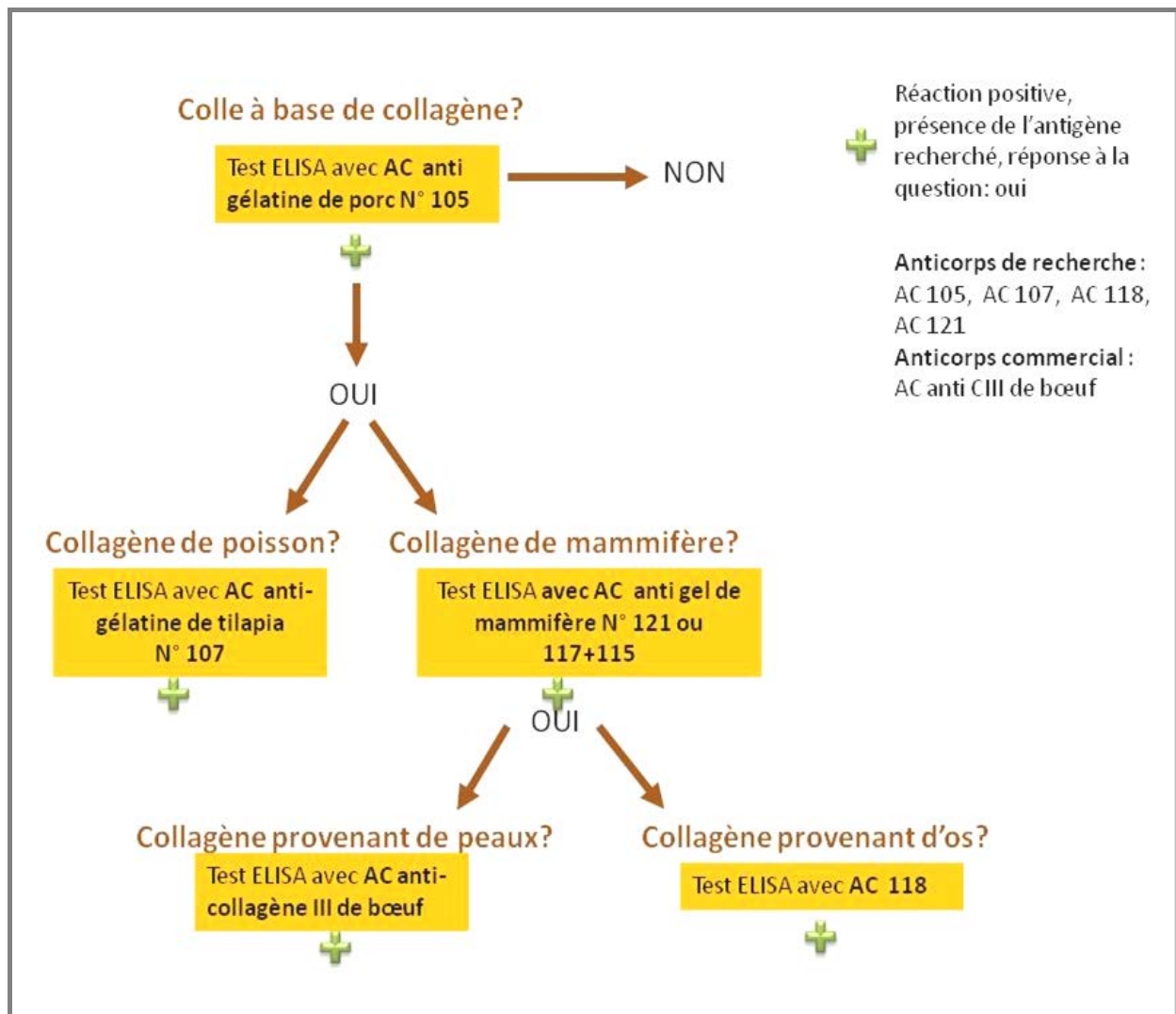


Fig. 8 : Arbre décisionnel © D. Elie-Lefebvre

4.5. Intérêts et inconvénients de cette technique

Intérêts :

- Reconnaissance spécifique des types de protéines (l'albumine, le collagène, la caséine...) et précision éventuelle de la source biologique de la protéine (c'est-à-dire, collagène de bovin, lapin, mouton, poisson).
- Possibilité de quantifier grâce à la réalisation d'une gamme de différentes concentrations en parallèle.
- Très grande sensibilité (limites de détection inférieures au nanogramme).
- Technique accessible à tous les chercheurs : simple, rapide, nécessitant peu d'appareillage spécialisé et peu coûteuse (une détection : 50 euros environ)

Inconvénients :

- Problème de la mise en place dans des laboratoires du patrimoine : absence de lecteur de plaque et de personnel spécialisé dans cette technique (technicien en biologie médicale).
- Nécessité d'un protocole de recherche si l'anticorps n'est pas commercialisé pour conduire à la fabrication d'anticorps à façon permettant une identification spécifique.

Conclusion et perspectives

Au début notre recherche s'est focalisée sur la mise au point d'une technique d'analyse des colles d'ébénisterie. Ceci permet d'apporter des éléments nouveaux sur l'histoire des techniques, de comprendre en partie les phénomènes de dégradation observés, d'avoir des informations sur l'histoire de la restauration et de mettre à disposition une technique permettant la traçabilité d'une intervention de collage en mobilier.

Cette technique d'analyse peut servir en outre à d'autres spécialités ou d'autres supports. Actuellement nous travaillons avec le Metropolitan Museum of Art de New-York sur un protocole de validation des résultats ELISA par une analyse MALDI-TOF MS sur des liants de peinture.

Pour en démontrer la généralité, nous envisageons aussi d'appliquer ces analyses des protéines par la technique ELISA à d'autres types de colle ou à d'autres matériaux comme les préparations des peintures, les mastics...

References

- BUCKLEY M., COLLINS M., THOMAS-OATES J., WATSON J.- C., 2009
Species identification by analysis of bone collagen using matrix-assisted laser desorption / ionisation time-of-flight mass spectrometry.
Rapid Communications in Mass Spectrometry, **23**, 3843-3854.
- CATTANEO C., GELSTHORPE K., PHILLIPS P., SOKOL R. J., SMILLIE D., 1991
Identification of ancient blood and tissue - ELISA and DNA analysis.
Antiquity, **65**, 249, 878-881.
- HEGINBOTHAM A., MILLAY V., QUICK M., 2004
The use of immunofluorescence Microscopy (IFM) and Enzyme-linked Immunosorbent Assay (ELISA) as complementary techniques for protein identification in Artists' materials.
WAG postprints of the wooden artefacts group, 32^{ème} meeting of the American Institute for Conservation, Washington, June.
- HODGINS G., HEDGES R., 1998
The immunological detection of collagen-based paints and adhesives on art and artifacts.
Congrès international sur l'apport de la chimie aux œuvres d'art: *Art et chimie, la couleur*. Paris, September 15.
- HODGINS G., HEDGES R., 1999
A systematic investigation of the immunological detection of collagen-based adhesives.
6th International Conference on non destructive testing and microanalysis for the diagnostics and conservation of the cultural and environmental heritage. Rome, May 17-20.
- HODGINS G., HEDGES R., 2000
Toward the immunological detection of media: the detection of artificially aged collagen-based paints".
Actes du congrès : *Art et chimie, la couleur*, CNRS édition, Paris, sept. 2000, 75-79.
- KEGHEL, 1949
Traité général de la fabrication des colles, glutinants et matières d'apprêt, Bibliothèque des activités industrielles, Gauthier-Villars, Paris, p. 17 à 19.
- KIRBY D.- P., KHANDEKAR N., ARSLANOGLU J., SUTHERLAND K., 2011
Protein identification in artworks by peptide mass fingerprinting.
Actes du colloque ICOM-CC Lisbonne, September 19-23.
- KUCKOVA S., NEMEC I., HYNEK R., HRADILOVA J., GRYGAR T., 2005
Analysis of organic coloring and binding components in colour layer of art works.
Anal Bioanal Chem, **382**, 275-282.
- KUCKOVA S., HYNEK R., KODICEK M., 2007
Identification of proteinaceous binders used in artworks by MALDI-TOF mass spectrometry.
Anal Bioanal Chem, **388**, 201-206.
- MAZUREK J., SCHILLING M., CHIATI G., 2008
Antibody assay to characterize binding media in paint.
Actes du colloque, ICOM-CC New Delhi, September 22-26.
- PANCELLA R., INDERMÜHLE-FRÜH Y., 1995
Identification des matières organiques dans les peintures et objets d'art par chromatographie en phase gazeuse, pyrolyse et spectrométrie de masse.
Actes du congrès LCP (Laboratoire pour la Conservation de la Pierre), Montreux, September 24-29.
- SCHULTZ J., PETERSEN K., 2011
Antibody based techniques to distinguish proteins and identify sturgeon glue in works of art.
Actes du colloque : *Adhesives et consolidants pour la conservation : recherche et applications*, Ottawa, October 17-21.
- SCOTT D.A., NEWMAN M., SCHILLING M., DERRICK M.R., KHANJIAN H.P., 1996
Blood as a binding medium in a chumash Indian pigment cake.
Archaeometry, **38**, 103-112.
- VANDENABEELE P., WEHLING B., MOENS L., EDWARDS H., De REU M., VAN HOOYDONK G., 2000
Analysis with micro-Raman spectroscopy of natural organic binding media and varnishes used in art.
Analytica chimica Acta, **407**, 261-274.

CIRAM

Science For Art

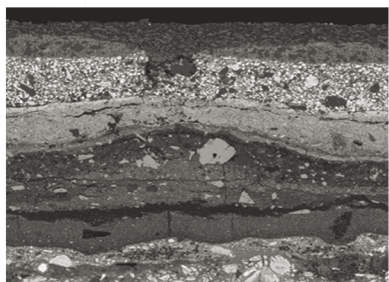


Cultural Heritage



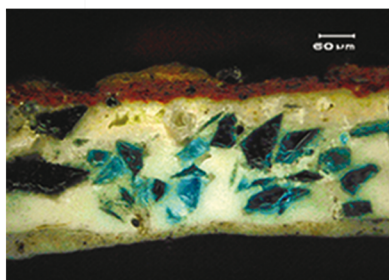
Analyse des matériaux

Stratigraphies, Pigments, Liants, Sels solubles, Microbiologie



Imagerie

Réfectographie Infrarouge, Fluorescence Ultraviolet, Radiographie X, Emissiographie



Datation

Carbone 14, Thermoluminescence

Marquage sécuritaire

Infalsifiable, Inaltérable, Unique

www.ciram-art.com

Extrait de nos références

Restaurateurs : Art Nucleart, Arcanes, Atelier Bis, Chevalier, Le Goël, Karoutzos, Kerguehennec, Jacqueline Laroche, SOCRA, Meriguet Carrère

Musées : Louvre, Petit Palais, Auguste Rodin, Arthur Rimbaud, Fondation Giacometti, Champollion, Chateau de Versailles

DRAC : Aquitaine, Haute-Normandie, Poitou-Charentes, Ile de France, Corse, Guyane

www.ciram-art.com - Téléphone 05 56 23 45 35 - Mobile 06 64 14 24 10 - contact@ciram-art.com

L'ART URBAIN MURALISME CONTEMPORAIN

POSSIBILITÉS DE CONSERVATION

Vanessa Magali TRUCHADO

INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, l'art urbain suscite l'intérêt du public et des institutions en développant de nombreuses expériences, ce qui explique pour une part la réflexion entamée sur la conservation de l'art urbain et plus particulièrement des fresques.

Les circonstances particulières de production de l'art urbain caractérisent sa liberté de forme, sa fraîcheur, sa nature transgressive et en même temps ces circonstances font que l'art urbain demeure sans protection. Mais, devons-nous le protéger ? Devons-nous le conserver ? Et si oui, comment faire, ou comment pourrions-nous le faire ?

Cet article est extrait d'une étude qui explore les possibilités de conservation de la peinture murale urbaine présentant la situation actuelle sur la conservation et qui suggère quelques propositions de conservation découlant de la méthodologie de la gestion et de l'évaluation des risques.

Art urbain. Définition et caractéristiques.

L'art urbain, "Street Art" et "Post-Graffiti" est un art qui est créé illégalement dans la rue, de manière anonyme et désintéressé. C'est un art libre et en constante évolution, à l'écart des circuits établis. Il utilise n'importe quel style, technique ou matériau afin de transmettre un message ou d'établir une conversation avec le *spectateur-marcheur* dont le thème va du politique au social vers des aspects plus poétiques ou esthétiques.

L'art urbain est fortement lié au graffiti, avec lequel il partage bon nombre de caractéristiques essentielles, c'est pour cela que certains ne les différencient pas même s'ils sont par essence différents.

Le graffiti ou "écriture" est un mouvement artistique "underground" qui est né à la fin des années 60 à New York qui s'est ensuite répandu rapidement au niveau international. Son principe est la signature ou "tag" qui identifie l'auteur qui peint sur tout support à sa disposition dans la rue afin de se *laisser voir*. Le graffiti a plusieurs niveaux de complexité allant de la simple signature à la grande fresque murale. Et, bien que le style soit libre, il existe quelques normes de langage et des codes de conduite puisqu'il s'agit d'un art dirigé vers sa propre communauté.

L'art urbain est apparu au début des années 80, sous l'influence des mouvements artistiques des années 60, en particulier de l'art d'action et de la culture urbaine et principalement du graffiti. Des artistes comme Daniel Buren, Gérard Zlotykamien, Ernest Pignon-Ernest ou Richard Hambleton, sont nommés comme les pionniers les plus influents du mouvement alors que d'autres comme Jenny Holzer, Keith Haring ou Jean-Michel Basquiat sont liés au début du graffiti.

Ensuite, la signature du graffiti a évolué du simple nom vers un symbole graphique comme dans le cas du new-yorkais Dan Witz avec son "colibri" (1979) ou du madrilène Suso 33 et sa "tache de peinture" (1980). L'intention et les techniques ont commencé à changer. Se développe ainsi la technique du pochoir avec l'œuvre du français Blek Le Rat ou le groupe nord-américain Guerrilla Girls. Ce développement se poursuit dans les années 90 avec des interventions de grande ampleur comme dans l'œuvre de Shepard Fairey. Dans la première décennie du XXIème siècle, de nombreuses expositions témoignent de l'art urbain, avec des artistes comme JR Banksy, Swoon, Roa, El Tono, Invader ou Momo qui continuent à développer leur travail et sont même internationalement reconnus.

Ainsi, l'art urbain et le graffiti ont en commun de se développer dans la rue de manière illégale, anonyme et éphémère. Les artistes cherchent un style personnel, ils veulent "se laisser voir" et revendiquent un espace public. C'est précisément le caractère illégal de ces deux mouvements qui leur donnent une grande importance. D'une part la rapidité d'exécution pour éviter les amendes et d'autre part la documentation, permettent à l'artiste d'ajouter l'œuvre à son "book". Ainsi enregistrée, l'œuvre s'assure une pérennité qui n'est pas garantie dans la rue car elle peut varier de quelques minutes à plusieurs années. Cependant, à la différence du graffiti, nous pouvons observer que l'art urbain manque de normes de langage ou de style. Il est très étroitement lié à l'environnement qui l'entoure et il tente de créer un message de dialogue avec le *spectateur-marcheur*.

La fresque d'art urbain.

L'art urbain utilise comme support le mobilier urbain (meubles, portes, plancher, etc.). Mais c'est le mur qui constitue le support le plus utilisé (murs mitoyens, murs d'enceinte ou de soutènement, etc...). Le mur est le support sur lequel s'applique le plus de techniques et les plus grands formats.

L'art urbain permet, en outre, d'exploiter le potentiel du mur. Il est choisi soit en raison de son esthétique (couleur, finition, texture) soit en raison de sa localisation (connotations sociales ou politiques), soit en raison de ses dimensions etc... de manière à ce qu'il contribue à porter le message de l'œuvre.

Ainsi, la réalisation d'une fresque répond à une organisation préalable qui comprend des esquisses, des photographies du site, des matériaux, l'examen du contexte spatial, le choix d'un point de vue ou encore l'aspect documentaire. La rapidité de mise en œuvre est aussi étudiée afin d'éviter les amendes. Les caractéristiques propres du mur comme sa qualité, son état d'usage peuvent être pris en compte pour la conservation de l'œuvre par certains artistes.

Les techniques utilisées sont en développement constant. Elles résultent de l'expérimentation et des méthodes manuelles et représentent des techniques innovantes par rapport aux fresques traditionnelles. Elles mettent en avant la peinture acrylique ou vinylique appliquée au pinceau, à la brosse ou au rouleau, à l'aérosol ou encore le vernis synthétique. Les artistes peuvent aussi utiliser des pochoirs ou "stencil", des posters et des papiers imprimés ou peints qui sont ensuite collés avec de la colle de pâte. Des techniques à sec comme la craie ou le fusain peuvent être associées à des techniques en négatif par grattage, taille et nettoyage. De plus, l'expérimentation de nouveaux moyens technologiques comme la technique "light-painting" est en plein essor.



Fresques du projet Crono à Lisbonne. Image : " Blu + Sam3 + Ericailcane", Miyoneza, 2012

1. Présentation de la problématique.

En dépit de son important développement et de sa mise en valeur durant ces dernières années, la fresque d'art urbain comme forme d'art contemporain manque de protection pour sa conservation. Autant pénalisée qu'encouragée, on l'admire et on la refuse, on la respecte et en même temps on la détruit.

Cela fait donc débat, car proposer une préservation de ces œuvres semble contredire leurs caractéristiques principales soulignant ainsi une problématique qu'il faut définir et analyser afin de proposer des solutions.

Cette problématique de conservation est complexe car elle tourne principalement autour de questions juridiques et des caractéristiques principales de ces œuvres. Pour préciser l'analyse, plusieurs points sont à étudier : le lien avec l'environnement, la nature éphémère de l'œuvre, sa documentation et les aspects juridiques qui l'entourent.

1.1. L'environnement. Art Public.

La fresque d'art urbain est intimement liée à l'environnement où elle se trouve. La plupart des artistes reconnaissent avoir choisi l'espace de leur œuvre, soit pour des raisons esthétiques soit pour des aspects de l'espace tant matériels qu'immatériels en termes de sens et de contexte. Un choix qui associe aussi la recherche du dialogue, la production d'une expérience avec le « spectateur-marcheur » qui nous pousse à définir ces fresques d'art urbain comme des installations "site-specific" dans l'espace public.

Cette production pour la rue, nous emmène à considérer la fresque urbaine comme un art public. Si nous comprenons "art public" comme celui qui forme une partie d'un système déjà existant, nous ne pourrions pas le cataloguer en tant que tel dans cette catégorie. Cependant, en des termes plus larges du concept "public", nous pourrions penser que comme l'œuvre est dans la rue, d'une façon complètement désintéressée comme un cadeau au profit de tous et sans conditions, cela permet au spectateur de décider de sa propre expérience artistique et de sa libre intervention.

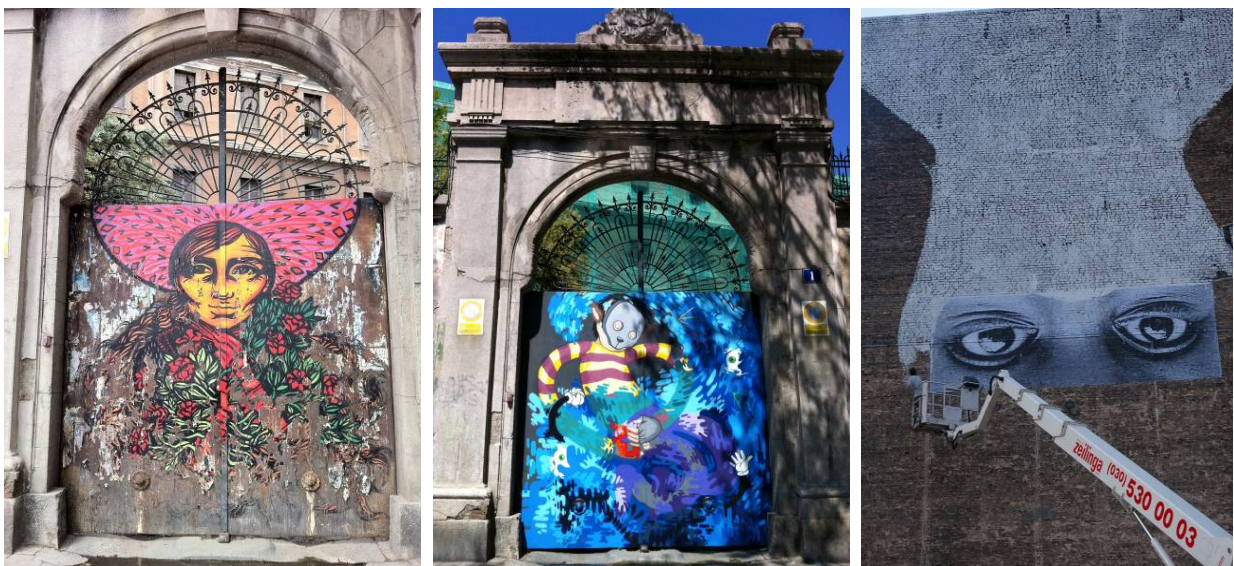
Par ailleurs, en termes esthétiques, le lieu peut créer un style unique comme dans un village ou à l'échelle d'un pays. C'est le cas, par exemple, de l'art urbain brésilien sous influence du graffiti new-yorkais et de la tradition muraliste latino-américaine.

1.2. Le temps. Art éphémère.

La fresque d'art urbain est largement classée comme un art éphémère et les œuvres sont réalisées avec la conscience de ce fait. La pérennité des fresques est incertaine car elles peuvent disparaître à n'importe quel moment soit sous l'effet des intempéries soit sous l'effet d'actes délibérés tel que le vol, les programmes de nettoyage urbain soit encore pour être cachées par une autre peinture ou des graffitis. Ce recouvrement est conforme aux normes du Street art, où la peinture de graffiti permet à un autre artiste de lancer un défi à l'auteur de la première version afin qu'il puisse répondre avec une autre peinture sur la précédente ou une autre, aboutissant finalement à une "bataille" entre les auteurs.

Les aspects fondamentaux de l'art éphémère résident dans le processus de disparition/dégradation de l'œuvre. La plupart des fresques répondent à cette définition du processus de disparition/dégradation, soit parce qu'elles privilégient l'action (illégale) soit par l'usage volontaire de matériaux précaires (non durables) soit parce que l'emplacement est susceptible d'être rénové ou complètement abandonner soit encore parce que d'autres peuvent y intervenir. Cependant, pour certains cas de peintures murales, la nature éphémère n'est pas aussi évidente en raison de la qualité matérielle de l'œuvre, de la forme esthétique du message de l'œuvre, de la légalité de la réalisation et par l'utilisation intentionnelle de matériaux plus durables.

Enfin, il faut noter que la concentration des œuvres dans une zone particulière qui se crée au fil du temps est monnaie courante dans le Street art et le graffiti et que les œuvres servent à créer une esthétique différente du lieu transformant les espaces de la ville en quelque chose de "vivant".



Œuvres de Bastardilla à Madrid, détériorées en 2011 et couvertes cet année par une œuvre de Sabek et Ruina/ L'artiste Blu en train de réaliser une fresque pendant un festival. Image: BLU & JR en Berlin (Planet Process)", Just Taking Pictures, 2007.

1.3. La documentation. Caractéristiques.

La documentation est fondamentale pour le Street art et le graffiti car elle reste l'un des seuls moyens de diffusion, de développement et de conservation des œuvres. Comme le disait récemment dans une interview l'artiste Momo "Je fais plus de photographies en ce moment. Si vous n'avez pas une photo, c'est comme si jamais cela avait eu lieu".

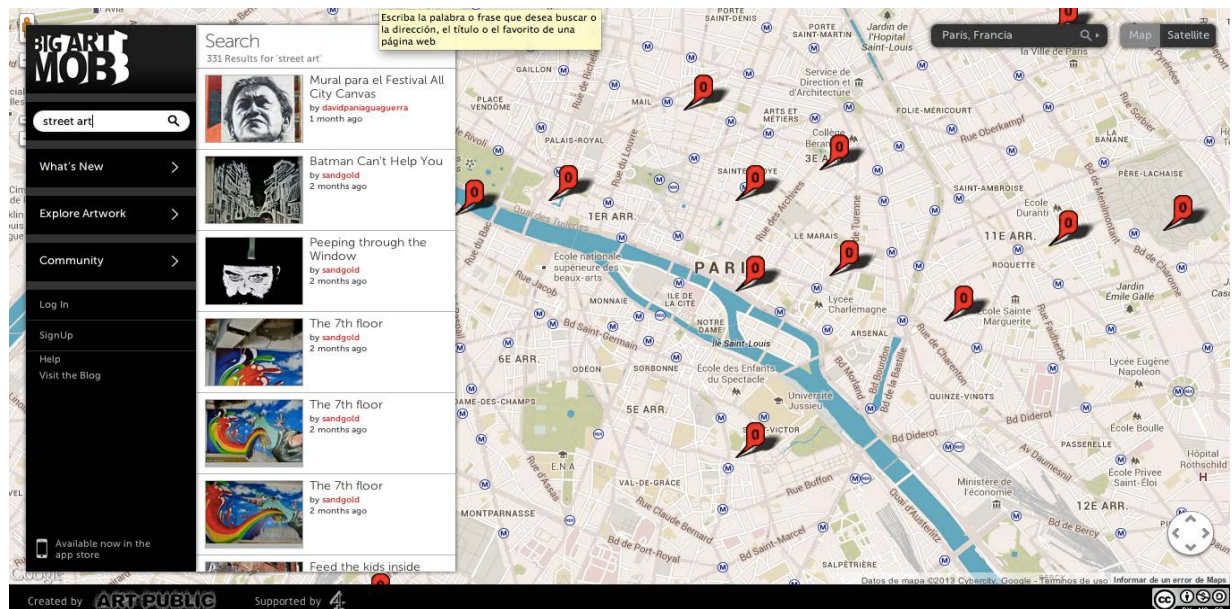
Ainsi, l'artiste est le seul à documenter son œuvre que cela soit par lui-même ou par l'intermédiaire de collaborateurs. Cette documentation personnelle est principalement constituée de photographies ou de vidéos que les artistes peuvent publier sur internet sachant que la plupart d'entre eux ont leur propre site, des blogs ou des livres.

Cette documentation s'enrichit de manière exponentielle avec les apports des « fans » et des médias spécialisés. Il existe un réseau de publications, de sites internet et de blogs qui présentent entre autre des nouvelles, des interviews, etc... *Wooster Collective* depuis 2001 ou *Ekosystem* depuis 1999 se font remarquer. Le cas de *Crono* à Lisbonne est assez remarquable puisqu'il publie sur internet les projets complets documentés avec l'ensemble du process de l'œuvre.

L'information devient plus dynamique et complexe en raison des facilités offertes par le réseau. Ainsi, une série de projets participatifs et collaboratifs se développent avec notamment des cartes de localisation des œuvres comme *Street Art Locator* (depuis 2008), *Street Art View* (depuis 2011) ou *Big Art Mob* (depuis 2012).

Les caractéristiques de cette documentation dépendent de l'œuvre, mais dans la plupart des cas on trouve surtout des photographies de l'œuvre achevée et dans une moindre mesure mais avec une tendance croissante, des données liées à la localisation, au contexte, à l'évolution de l'œuvre dans la rue, des photographies de détails, des "making of"... Ces dernières informations sont particulièrement remarquables car non seulement elles témoignent de l'intérêt de la conservation mais elles exposent aussi une partie des problématiques. L'état de conservation des fresques est recueilli grâce aux commentaires et photographies qui témoignent de leur détérioration, modification ou dans la plupart des cas de leur disparition. Nous pouvons trouver des expressions parmi les plus utilisées comme "éliminé", "caché" ou "disparu" même "reste".

Site d'internet du projet de documentation d'art publique *Big Art Mob*.



1.4. Illégalité. Légalité.

L'art urbain et le graffiti sont des pratiques illégales et pénalisées par des amendes considérables. Dans quelques villes, le graffiti est considéré comme un acte de vandalisme, un dommage et une violation de la propriété privée autrement dit c'est un délit. La plupart des Etats investissent beaucoup d'argent pour le contrôle et l'élimination des graffitis et des fresques murales avec des campagnes de nettoyage et de sécurité.

Mais, nous pouvons observer parfois, en fonction du pays, un peu plus de permissivité. Par exemple à Melbourne, les fourgons sont décorés lorsque les entreprises n'ont pas de visibilité, à Sao Paulo les fresques sont une fierté populaire et les gens se font photographier devant ou encore à New York ou à Bristol, il y a des protestations quand les peintures murales sont endommagées ou « éliminées ». Même s'il s'agit d'un cas isolé, depuis 2009 à Rio de Janeiro, il y a une loi qui permet aux artistes de peindre avec l'accord du propriétaire du bâtiment.

D'ailleurs, dès l'origine, l'art urbain et le graffiti se sont aussi développés légalement, principalement dans le cadre de festivals et d'événements parrainés au sein desquels de nombreux artistes développent une grande partie de leur travail et sortent même de l'anonymat.

Ce fait alimente le débat sur ces fresques légales à savoir si elles sont réellement de l'art urbain, ou si le propre de l'art urbain est d'être catalogué « d'illégal ». Ces fresques sont généralement "plus ambitieuses" car les artistes bénéficient de plus de temps et de moyens et elles sont considérées comme différentes de celles réalisées illégalement. La pérennité des fresques légales change en fonction des cas. Cela peut concorder avec le statut de l'événement comme par exemple dans l'exposition *Street Art* de la Tate Modern en 2008, ou rester pendant un temps défini, comme dans le cas de *Poliniza* à Valence ou comme dans la plupart des cas rester dans la rue de la même façon qu'une peinture illégale.



Façade de la Tate Modern pendant l'exposition Street Art de 2008. Image: "TM1", Badly Drawn Dad, 2008.

2. Présentation de la méthodologie puis de la démarche scientifique

La méthodologie utilisée pour rechercher les possibilités de conservation des fresques de l'art urbain est basée sur la recherche et la compilation d'études de cas publiées sur internet et sur d'autres analyses s'appuyant sur la méthodologie de l'évaluation de la gestion des risques.

Nous avons aussi tenu compte de l'opinion des artistes, des organismes et des personnes liées au soutien et à la mise en valeur de l'art urbain et complété ces informations grâce à des conférences professionnelles sur la peinture murale contemporaine et la réalisation d'interviews.

2.1. Situation actuelle. Etude de cas.

Les cas de conservation des fresques urbaines sont très rares et souvent il s'agit d'exception que nous pouvons extraire principalement d'informations ou d'articles. C'est pour cela que nous avons aussi considéré des œuvres similaires comme les graffitis ou les fresques contemporaines. Vingt et un cas ont été analysés, que nous allons résumer et décrire pour les plus remarquables.

Nous avons appliqué des traitements de conservation préventive pour des fresques urbaines présentant un risque de dégradation comme celle de Jorge Rodríguez-Gerada "Composite Identity Badalona", Barcelona 2010. L'œuvre de cet artiste est constituée de portraits à grande échelle au fusain où la dégradation progressive de l'image fait partie du message. Mais pour cette fresque, réalisée légalement, l'artiste a décidé d'appliquer un traitement pour prolonger la vie de l'œuvre.

En cas de dommages sur les fresques, il n'est pas rare que les artistes repeignent à nouveau une peinture, comme en 2010 lorsque la mairie de Sao Paulo a recouvert une fresque de Os Gemeos datant de 2003 et qu'il a décidé de la refaire ou encore en 2011 lorsque Shepard Fairey est intervenu à nouveau sur l'une de ses fresques à Boston qui avait subi les vicissitudes du climat.

Des professionnels de la restauration-conservation sont aussi intervenus, comme ce fut le cas pour une fresque de l'artiste Shepard Fairey à Philadelphie en 2011 où un graffiti a été éliminé de sa fresque avec son accord ou encore celui de *Gorilla in pink mask* de Banksy, (Londres en 2007?) qui fut caché lors la reforme de l'immeuble pour restauration en 2011 à l'initiative de la mairie.

Les œuvres de Banksy sont les plus controversées en terme de conservation. Les cas de peintures arrachées et mises en vente sont très retentissants. On raconte que les municipalités de Bristol ou de Londres souhaitent restaurer ses peintures. Depuis 2007, de nombreuses fresques sont protégées avec une couche de méthacrylate ce qui a soulevé certaines questions d'ordre juridique sur la protection légale et sur la réalisation d'une base de données.

Pour des œuvres similaires, nous pouvons trouver des solutions différentes allant de la conservation-restauration, à la reconstruction temporaire, jusqu'à refaire ou déplacer les œuvres.

Par exemple, l'œuvre *Undine* de Harald Naegeli (Zurich, 1978) fut restaurée en 2004. Cette œuvre appartient à une série qui a provoqué un débat public sur sa conservation et qui a finalement abouti à l'effacement des peintures et à la condamnation de l'artiste par les autorités. La reconnaissance acquise par Naegeli quelques temps après fut telle que des solutions ont été recherchées pour protéger ses dernières œuvres.



"Undine" de Harald Naegeli, Zürich, 1978, suite à sa restauration en 2004. Image: "Undine", Dbachmann, 2006./
Signature de Muelle, 1990, Madrid, dont on s'étudie sa déclaration comme bien d'intérêt culturel depuis 2010.

Autre cas à souligner, celui de la fresque située à Houston Street et Bowery de Keith Haring (New York, réalisée et disparue en 1982). La galerie Deitch Projects a soutenu sa reconstruction pour une durée de sept mois sur le mur original grâce à la documentation photographique qui avait été conservée.

Autre cas, celui du déplacement par le Whitney Museum dans les années 80 d'une œuvre *Dwellings* de Charles Simonds (New York, vers 1970) qui faisait partie d'une série d'installations d'argile et de bois annexées aux bâtiments de la ville. L'une d'entre elle a été protégée par un méthacrylate et d'autres ont été mises à l'abri à l'intérieur du musée.

D'autres mesures remarquables de protection ont été initiées suite à la demande de déclaration de Bien d'Intérêt Culturel en 1990 pour une signature de Muelle (Madrid, 1990) afin de faire face à la démolition programmée de l'immeuble depuis 2010. Ou encore la conservation documentaire de la salle punk "Stollwerck" (Colonia, 1980) où l'organisme officiel des monuments a compilé les dessins ou les peintures avant que le bâtiment ne soit démoli.



Enfin, des études et des propositions récentes visent à accorder une attention particulière aux enquêtes sur la restauration et aux possibilités de retirer les graffitis, à partager des données en réseau qui comprennent des fiches techniques avec tous les aspects de la conservation, ou d'utiliser un logiciel de « réalité augmentée » afin de créer une ressource numérique plus durable de l'art urbain. Cette dernière proposition fait partie du projet du *Re+Public* et *Nuart* (festival d'art urbain de Stavanger, Norvège) créé en 2012 à partir d'une fresque de l'artiste Swoon. Le projet propose de voir l'image de l'œuvre originale dans le lieu où elle fut produite à partir d'un dispositif mobile.



Images du projet "Resurrection Swoon" d'application de la réalité augmentée à la fresque d'art urbain.

2.2. Evaluation et gestion de risques.

L'évaluation et la gestion des risques qui a comme objectif la méthodologie de la conservation préventive vise à minimiser ou éviter la détérioration des œuvres d'art et de fournir des outils pour établir des critères et des mesures de conservation appropriées à chaque cas.

Cette évaluation est basée sur l'analyse des éléments de l'œuvre et sur les facteurs de risque qui menacent sa conservation. Les facteurs de risque sont évalués en fonction de leur importance, de leur probabilité et de leur impact potentiel sur les œuvres ainsi que sur la possibilité ou non d'une restauration, pour ensuite faire des propositions en matière de gestion. Le tableau suivant résume son application à toutes les peintures murales de l'art urbain.

Les éléments caractéristiques qui forment les différentes parties des murs sont d'une part les éléments tangibles du mur comme les matériaux de construction, les caractéristiques physiques du support (architecture ou éléments annexes) et de l'autre, les parties intangibles comme les caractéristiques environnementales ou de localisation (lumière, points de vue ou sons) et le contexte social ou politique. Selon la peinture murale chaque élément aura une valeur plus ou moins relative dans la transmission du message de l'œuvre. Normalement, les aspects matériaux ont plus de valeur que les aspects immatériaux.

Les principaux facteurs de risque qui menacent les peintures murales peuvent être regroupés comme suit : actions humaines, fragilité des matériaux et effets de l'environnement et absence de documentation.

"No tengas miedo" ("n'aies pas peur") est une œuvre de l'artiste Vinz Feel Free réalisée dans le cadre du Festival Incubarte de Valencia en 2012, avant et après son agression par les agents de police. L'œuvre est dédié aux femmes des mineurs espagnoles qui ont participé à la manifestation "La Marcha negra". Image: "Ahora parece que la policía nacional se dedica a destruir obras de street art", nosepuedevlc, 2012



Les autres facteurs de dégradation des peintures murales sont : les nettoyages et les "recouvrements" effectués par les personnels des municipalités (élimination chimique et mécanique et recouvrement des peintures), les interventions sur l'immeuble (démolition, construction et réhabilitation) et les agressions directes (vols, actes de vandalisme...). Ces facteurs sont ceux qui provoquent les dommages les plus graves et les plus difficiles à récupérer. La gestion des risques pourrait s'appuyer sur une régularisation du statut juridique, sur une plus grande connaissance et évaluation des peintures murales et sur des décisions prises sur les dossiers.

Les effets des intempéries sur les matériaux font parti de ce que nous ne pouvons pas prévoir. Établir l'impact à long terme reste très difficile en raison de la diversité des techniques et parce que les œuvres sont souvent victimes d'autres facteurs plus négatifs. Mais, à travers les études de cas, nous pouvons voir que quelques peintures résistent des décennies alors que d'autres souffrent d'une détérioration très rapide.

La plupart de matériaux employés proviennent de l'industrie et même s'ils sont de qualité, leur pérennité pour une utilisation dans le milieu artistique n'a pas été testée. Des produits spécifiques ont été testés, et certains aérosols offrent une durabilité de huit ans sous une exposition directe à la lumière du soleil.

De toute façon sur un mur extérieur, les principaux risques sont liés à l'exposition aux intempéries, à la lumière (photo-dégradation), aux phénomènes météorologiques (dissolution et érosion), aux facteurs climatiques d'humidité relative et de température (condensation, changements dimensionnels, cycle gel-dégel, capillarité qui peuvent produire des exfoliations ou des détachements), la pollution (des changements chimiques, de la saleté), et les facteurs biologiques (des taches). Les risques directement liés aux matériaux sont l'instabilité et l'incompatibilité de plusieurs matériaux.



« Daniel » de Jorge Rodríguez-Gerada, Madrid, 2006, image prise en 2010 (disparue). / Œuvres de Sam3 et Escif à Valence, image prise en 2012.

Ainsi, l'ensemble de ces facteurs ont un impact très élevé sur les peintures murales. Leur conservation peut s'appuyer sur une meilleure connaissance des techniques utilisées, sur les matériaux et sur la maîtrise de leur environnement ou grâce à des plans de maintenance et d'entretien en conservation préventive.

Nous ajouterons le risque associé à la perte ou à l'absence de documentation de l'œuvre. Ce facteur est difficile à évaluer car les informations obtenues sont rares et difficiles à vérifier et qu'elles dépendent de l'œuvre et de l'artiste et que chaque documentation est singulière. Nous pouvons établir que ce risque a un impact modéré et qu'il reste possible de récupérer des informations. Les mesures pour la conservation comprennent des stratégies de documentation constituée à partir de bases de données et d'interviews et d'un plan pour la conservation de

ces informations sous forme numérique ou analogique en s'assurant la possibilité d'une migration sur d'autres supports garantissant l'accès et la conservation des documents.

3. Résultats

La situation actuelle sur la conservation de la peinture murale urbaine est complexe. Les cas envisagés en terme de conservation-restauration sont très rares et dépendent de chaque mur. Il n'existe pas de plan de protection ou de conservation s'appliquant à un ensemble de peintures murales urbaines à l'exception des propositions qui sont basées sur la documentation.

Les raisons avancées sont différentes (juridiques, sociales, historiques, etc...) mais en général, elles répondent à une reconnaissance sociale ou personnelle de leur valeur culturelle.

Les solutions adoptées sont variées et exceptionnelles en matière de conservation-restauration. Comme dans l'art contemporain, les artistes peuvent être impliqués dans ce processus mais c'est un art anonyme et illégal et certaines interventions se font sans leur collaboration. Parmi les solutions, refaire, conserver et restaurer sont les plus communes, mais il y a aussi des cas de reconstruction ou de relocalisation temporelle. Enfin, il existe des tentatives en terme de protection juridique, de création de base de données voire des projets utilisant des outils technologiques comme la réalité augmentée.

Cependant, toute action engage un débat principalement lié au caractère illégal, éphémère et "site-specific" de l'art urbain, un des aspects essentiels de sa problématique de conservation.

Bien que l'illégalité soit considérée comme un facteur essentiel de l'art urbain et du graffiti, il existe de nombreuses fresques légales et/ou sponsorisées. Mais la promotion et le patronage par des institutions et des organisations n'impliquent pas un engagement sur la conservation ; les fresques sont dans la rue comme celles réalisées d'une façon illégale, sans protection. Par conséquent, nous pouvons dire que la peinture murale urbaine se trouve dans une situation de vide juridique.

D'autre part, la nature éphémère de la fresque urbaine doit être questionnée avant une intervention sur un ensemble. Cette nature peut ne pas respecter l'esprit de l'œuvre et comme cela a été démontré avec la gestion de l'évaluation des risques pour de nombreux cas, cela répond à la situation imposée par une œuvre en extérieur.

Les actions d'autres personnes sont les risques principaux des fresques urbaines: les nettoyages et les "recouvrements" opérés par les municipalités, les interventions du milieu ou de l'immeuble et les agressions directes. Autres facteurs ayant des effets moindres, les intempéries sur les matériaux, l'absence ou la perte de documentation.

Propositions.

La conservation-restauration de la fresque urbaine devrait s'appuyer sur la conservation préventive, la gestion des risques et la documentation afin de minorer ou d'éviter les dommages matériels qui ont un impact sur l'intention de l'œuvre.

Pour cela, nous pourrions proposer des solutions déjà expérimentées sur des œuvres similaires comme des peintures murales conservées en extérieur, des installations "site-specific" et des œuvres éphémères et ainsi appliquer une méthodologie propre à l'art contemporain. Nous pourrions créer de nouvelles approches documentaires qui comprendraient des stratégies pour l'obtention, la gestion et la diffusion de l'information. Des plans de maintenance/entretien et de suivi permettraient de favoriser l'étude des modifications

et de travailler en collaboration avec les artistes grâce à des interviews spécifiques pour connaître leurs opinions sur l'avenir des œuvres, leurs intentions au moment de la production, les matériaux et techniques employés et les possibilités de conservation.

Dans le cas où la fresque murale est reconnue comme une œuvre pérenne, la conservation pourrait être élargie avec des mesures de conservation et de restauration.

CONCLUSION

La peinture murale d'art urbain est une manifestation artistique contemporaine qui s'est développée dans l'espace public, de manière illégale, ayant pour caractéristique d'être éphémère et "site-specific" avec une problématique de conservation complexe et récente.

Sa conservation repose sur la documentation mais cette peinture est née pour être expérimentée dans la rue, son environnement, où « sa vie » est de courte durée puisque divers facteurs ont effet sur les matériaux comme les intempéries ou les actions imputables aux personnes comme le vol, le vandalisme, le nettoyage ou le recouvrement.

Les cas de conservation montrent l'intérêt croissant et la grande variété des approches et des solutions envisagées, mais ils mettent aussi en évidence les problèmes : le manque d'information sur l'intentionnalité de l'œuvre par rapport à sa temporalité, éphémère ou pérenne, le manque de protection juridique, avec une situation de vide juridique, l'effet des conditions météorologiques sur les matériaux et la manque de documentation.

Cette étude rend compte d'une situation complexe qui met en évidence que pour s'occuper de la fresque urbaine dans son ensemble, il serait positif de renforcer la conservation documentaire.

En ce sens, la conservation-restauration peut contribuer avec la méthodologie et l'expérience des œuvres contemporaines similaires, à soutenir des propositions intéressantes et nouvelles, comme la création d'une base de données et de catalogues participatifs en réseau ou l'utilisation d'outils numériques comme la réalité augmentée.

Grâce à ces nouvelles méthodes, nous pouvons conserver ou élargir l'expérience de l'art urbain. Une connaissance approfondie des matériaux permettra une meilleure appréciation des mesures en conservation préventive. L'œuvre restera "active" dans l'avenir grâce aux documents des spectateurs.

Mais pour cela, il est nécessaire d'obtenir un soutien social et institutionnel car la conservation n'est pas une discipline indépendante, mais une discipline qui s'efforce de préserver le patrimoine culturel de tous en proposant des mesures et des projets adaptés. Dans le cas de l'art urbain, le civisme, l'entretien et l'admiration des citoyens pour ses fresques devraient être suffisant pour commencer à envisager la conservation, la protection des œuvres et donc à repenser juridiquement le vandalisme et la destruction.

Alors, les propositions et discussions sur la conservation contribuent à mettre en valeur l'art urbain en soulignant sa nature éphémère tout en questionnant le pourquoi de cette disparition qui appelle une nouvelle façon de regarder la ville.



« A quoi pensent les gouvernants? » de Noaz 2009, Madrid, image prise en 2011 (disparue).

Avec nos remerciements à Anne Cadenet - Responsable du service Collection Documentation Archives du CAPC Musée d'Art Contemporain de Bordeaux - pour sa relecture et ses corrections

Bibliographie

- ABARCA, J. Urbanario: graffiti y arte urbano [sur internet]. Création 2008. [Consulation: Juillet 2012]. <<http://urbanario.es>>
- AMOR, R. Lucía. Aplicación de la técnica del strappo a la conservación de pinturas realizadas a base de esmaltes sintéticos en aerosol. Arranques de grafitis [sur internet]. UPV, 2011. <<http://hdl.handle.net/10251/15569>>
- COL. WIKIPEDIA. "Harald Naegeli". Wikipedia, the free encyclopedia [sur internet]. Création 2005. [Consulation: Août 2012]. Disponible en: <http://en.wikipedia.org/wiki/Harald_Naegeli>
- DEITCH, J. Jeffrey Deitch Projects Gallery [sur internet]. Dernière mise à 2012. [Consulation: Août 2012]. <<http://deitch.com/projects/sub.php?projId=239>>
- FUCHS, M. "Undine bleibt". Universität Zürich [sur internet] 2005. [Consulation: Août 2012]. <<http://www.uzh.ch/news/articles/2005/1928.html>>
- GANZ, Nicholas. Graffiti World: street art from five continents. Thames & Hudson. Allemagne, 2004.
- GARCÍA GAYO, E. ¿Se debe conservar el arte urbano basado en la premisa de: "piensa, crea, actúa y olvida"? . Jornada de Conservación de Arte Contemporáneo. MNCARS et GEIIC. 12 ed. P. 159-178. Madrid, 2011.
- GONZÁLEZ, C. "Artefactos temporales y responsabilidad artística". Universidad de Murcia. V Congreso Mediterráneo de Estética. 4-8 de Julio de 2011. [en línea]. Juillet 2011. [Consulation: Octobre 2012]. <<http://www.um.es/vmca/download/docs/carmen-gonzalez.pdf>>
- HECHT, A. "Street artist Fairey's mural revamped on campus". The Tufts Daily [sur internet]. Novembre 2010. [Consulation: Août 2012]. <tuftsdaily.com/street-artist-fairey-s-mural-revamped-on-campus.1.2397420#.UDtoSELuPPx>

KRAUSE KNIGHT, C. Public Art. Theory, practice and populism. Blackwell Publishing, 2008.

LEWISOHN, C. Street Art: The graffiti revolution. Tate Publishing. Londres, 2008.

MAZA, de la M. "Así se consigue un Banksy, ¿así se roba un Banksy?". Vanity Fair Diario [sur internet]. Septiembre 2011. [Consulation: Août 2012].
 <<http://blogs.revistavanityfair.es/vanityfair-diario/2011/09/08/asi-se-consigue-un-banksy-¿asi-se-roba-un-banksy/>>

MCCORMICK, C., Schiller, Marc & Sara; Seno, E. Trespass: una historia del arte urbano no oficial. Taschen. 2010.

RAINER, L. "The Conservation of Outdoor Contemporary Murals". The Getty Conservation Institute Newsletter [sur internet]. 2003, 18.2 [Consulation: Août 2012].
http://www.getty.edu/conser vation/publications_resources/newsletters/18_2/feature.html>.

RE+PUBLIC. Re+Public. ReImagining Public Space. Urban Art Projects. The Heavy Projects [sur internet]. Dernière mise à 2012. [Consulation: Octobre 2012]. <<http://www.republiclab.com/projects>>

ROSE, A. y Strike, C. Beautiful Losers: arte actual y cultura urbana. La Casa Encendida. Madrid, 2008.

TERRASA, R. "Denuncian la "mutilación" de un graffiti en Valencia con cargas policiales a mujeres desnudas". El Mundo.es [sur internet]. Juin 2012 [Consulation: Juin 2012].
 <<http://www.elmundo.es/elmundo/2012/06/26/valencia/1340736082.html>>

WHITELOCKS, S. "Bye bye Banksy; Iconic painting whitewashed by bungling worker after building is transformed into Muslim centre". Daily Mail [sur internet]. Juillet 2011. [Consulation: Août 2012].
 <<http://www.dailymail.co.uk/news/article-2014826/Bye-bye-Banksy-Iconic-painting-whitewashed-bungling-worker-building-transformed-Muslim-centre.html>>

YOUNG, M. "The Legalization of Street Art in Rio de Janeiro, Brazil". Untapped cities [sur internet]. Février 2012 [Consulation: Septembre 2012].
 <<http://untappedcities.com/2012/02/13/the-legalization-of-street-art-in-rio-de-janeiro-brazil/>>

Index avec licence Creative Commons:

Blu + Sam3 + Ericailcane. Miyoneza (<http://www.flickr.com/photos/miyoneza/>) 2012. Licence Creative Commons BY-NC-ND 2.0.

BLU & JR en Berlín (Planet Process). Just Taking Pictures (<http://just.ekosystem.org/BLOG/portfolio/>) 2007. Licence Creative Commons BY-NC-ND 3.0.

"TM1", Badly Drawn Dad (<http://www.flickr.com/photos/dhedwards/>) 2008. Licence Creative Commons BY-NC-ND 2.0.

"Ahora parece que la policía nacional se dedica a destroz ar obras de street art", Nosepuede vlc (<http://www.flickr.com/photos/nosepuede vlc/>), 2012. Licence Creative Commons BY 2.0.

"Banksy_SF_23", Victor Lee (http://www.flickr.com/photos/victor_lee/) 2010. Licence Creative Commons BY-NC-ND 2.0.

"Banksy a Notting Hill", Marie Aschehoug-Clauteaux (<http://www.flickr.com/photos/marie-aschehoug-clauteaux/>) 2009. Licence Creative Commons BY-ND 2.0.

"Undine", Dbachmann (http://en.wikipedia.org/wiki/File:Naegeli_undine.jpg) 2006. Licence Creative Commons BY-SA 3.0.

Étude et restauration d'une œuvre atypique : *Trans Europe Express* de Dorothée Selz

Problématique de la conservation-restauration de matériaux composites

Marie COURSEAUX

Introduction

Lorsque Dorothée Selz réalise *Trans Europe Express* en 1972, elle souhaite évoquer le thème du paysage et plus particulièrement du paysage ferroviaire. Elle utilise pour ce faire différents éléments de décor empruntés au modélisme, tel que : des lichens, des mousses et un circuit de train miniature (Fig. 1).



Fig. 1 : *Trans Europe Express* avant restauration, 20,5 x 131,5 x 98,5 cm.

L'emploi de coloris vifs et d'un graphisme strié aux motifs cannelés sont autant d'éléments récurrents qui participent à son répertoire. Pour ce faire, le relief est essentiellement constitué de « glace royale », préparation généralement utilisée en pâtisserie et élaborée à partir de blanc d'œuf monté en neige et de sucre glace¹. Dorothée Selz a cependant pris l'initiative d'y ajouter de la peinture Flashe® et de la colle vinylique, modifiant ainsi la composition de base². Le mélange est alors déposé au moyen d'une « poche à douille » et d'un embout cannelé. Enfin, un magnétophone à cassette, de marque Sanyo®, permet la diffusion d'une bande sonore.

¹ Des colorants alimentaires et du jus de citron y sont parfois ajoutés.

² D'après elle, les colorants alimentaires perdent de leur intensité avec le temps. C'est pourquoi elle utilise en remplacement de la peinture Flashe® pour teinter sa glace royale. Elle a également supprimé le jus de citron car il accélère son temps de séchage. Cela lui permet de disposer d'un délai suffisamment long pour réaliser le décor. Quant à la colle vinylique, elle a été ajoutée, selon ses termes, pour donner « une consistance, une dureté, une pérennité » au mélange. COURSEAUX, 2012, p. 326.

1. Contexte de conservation de l'œuvre

Suite à son acquisition en 1973 par le Centre national des arts plastiques (CNAP), l'œuvre présentait un phénomène de brunissement indéterminé. Face à cette problématique et devant l'ampleur de l'altération, Annie Demange³ et Sébastien Faucon⁴ décidèrent de nous en confier la restauration. L'essentiel de ce travail a donc consisté dans la compréhension des mécanismes de dégradation de la glace royale. Pour cela, un protocole d'étude a été mis en place. Le but étant de déterminer les causes de cette altération afin de proposer un traitement adapté.

Dans un premier temps, nous avons effectué une série d'entretiens avec l'artiste pour identifier les caractéristiques d'un matériau jusqu'alors méconnu. Cela a également permis de reconstituer le parcours de *Trans Europe Express*. Ainsi, Dorothée Selz a signalé avoir conservé l'œuvre dans son ancien atelier jusqu'à sa livraison au Palais de Tokyo en 1973. D'après elle, l'œuvre était alors en très bon état et ne montrait aucun signe de brunissement. Il semblerait que *Trans Europe Express* et d'autres œuvres du FNAC aient été entreposées au Palais de Tokyo dans de mauvaises conditions. N'étant pas emballées, elles ont été exposées à la poussière et à l'humidité. Selon Dorothée Selz, il y aurait eu des « fuites d'eau le long des murs ». Plusieurs de ses œuvres constituées de glace royale, auraient alors été exposées à une quantité d'eau plus ou moins importante. Annie Demange a d'ailleurs confirmé par la suite les « dégâts des eaux dans cette réserve ». Toute deux semblent penser que les déjections retrouvées sur *Trans Europe Express* sont l'œuvre des souris provenant du Palais de Tokyo.

Selon les documents fournis par le FNAC, *Trans Europe Express* a été prêté à deux reprises. La première fois pour une exposition organisée par l'association Champagne-Argonne au Château de Braux à Sainte-Cohière en 1982, puis à la Cité des sciences et de l'industrie à Paris en 1988. En 1991, *Trans Europe Express* est transporté vers les réserves du CNAP sous l'esplanade de la Défense. Un constat réalisé en 2003 par Annie Demange sur l'état général de l'œuvre, mentionne des « taches importantes et ponctuelles de moisissures (?) brunâtres à la surface du sucre ». Hormis ce document provenant du FNAC, aucune autre archive ne fait allusion à l'état de conservation de *Trans Europe Express* depuis sa création en 1972. Seul quelques photographies en noir et blanc ont subsisté, qui n'ont pas permis de distinguer un quelconque brunissement.

2. Enjeux artistiques

La bande sonore de *Trans Europe Express* est élaborée à partir du montage séquentiel de différentes ambiances. On en dénombre trente et une au total, assemblées en boucle. Les sons proviennent de la nature, de moteurs, de festivités, d'engins mécaniques et de trains. Par cette grande variété de sons, Dorothée Selz amplifie la trame narrative déjà amorcée par le support visuel. L'ouïe apparaît alors comme un moyen supplémentaire pour solliciter notre imagination. La convergence de ces différentes données opère brusquement comme le déclencheur « d'une représentation imagée du son ».

³ Gestionnaire des restaurations au Fonds national d'art contemporain (FNAC).

⁴ Inspecteur de la création artistique au FNAC.

L'utilisation de matériaux comestibles, qu'ils le soient réellement ou seulement en apparence, sous-tend le travail de Dorothée Selz. Dans le cas de *Trans Europe Express* les apparences sont trompeuses. La façon dont Dorothée Selz travaille la matière laisse croire à une préparation comestible. Or, il n'en est rien étant donné la présence de colle vinylique et de peinture Flashe®. Le décor très coloré renforce l'attraction du spectateur. L'aspect « appétissant » incite à dépasser la simple contemplation, à ne plus seulement le dévorer des yeux. Par ces jeux de matériaux, de formes et de couleurs, Dorothée Selz se plaît à susciter la confusion. Dès lors, il convient de distinguer deux types d'œuvres dont la finalité diverge sensiblement : les « sculptures comestibles éphémères » (réellement consommables) et les œuvres pérennes destinées à être conservées. *Trans Europe Express* fait partie de la seconde catégorie. Dorothée Selz insiste particulièrement sur la durabilité et la qualité des matériaux employés. Soucieuse de leur pérennité, elle décidera même d'abandonner progressivement le mélange sucre glace, blanc d'œuf, colle vinylique et peinture Flashe®, consciente de sa fragilité, pour le remplacer par un mastic coloré, qu'elle estime plus solide. Pour *Trans Europe Express*, l'utilisation de matériaux instables ne traduit pas chez Dorothée Selz la volonté d'une œuvre périssable, même si celle-ci s'avère précaire.

3. Techniques de fabrication

À partir des observations faites sur *Trans Europe Express* et des différents entretiens avec l'artiste, nous avons pu reconstituer le processus de fabrication selon les étapes suivantes (Fig. 2) :

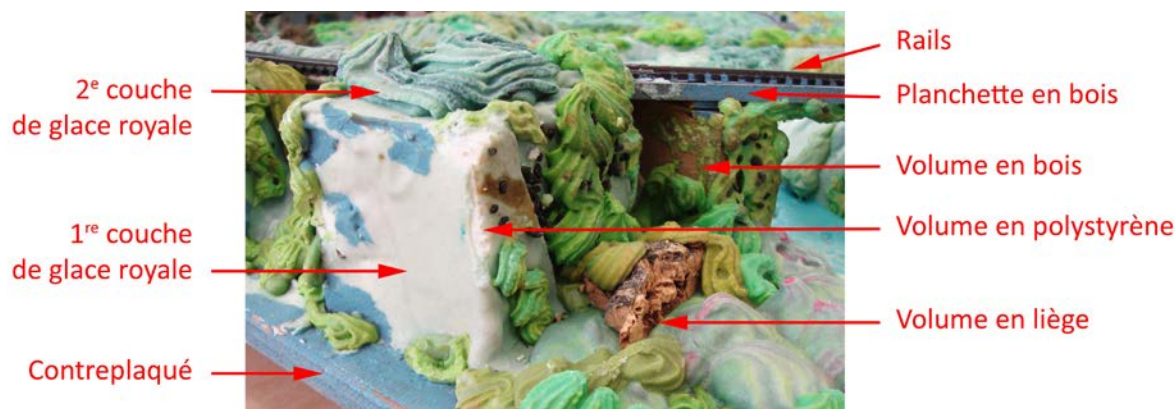


Fig. 2 : Positionnement des différents éléments.

- 1/ Sur une planche de contreplaqué rectangulaire sont disposés des volumes en polystyrène, en liège et en bois, ainsi que le magnétophone. Les parties en polystyrène sont montées sur des tiges métalliques fichées dans la planche. Le magnétophone est maintenu à l'arrière par deux équerres métalliques. Il est calé à l'avant par deux roulettes en caoutchouc montées sur deux manches métalliques. Ce dispositif permet le dégagement ou l'enchâssement vertical de celui-ci. On peut donc procéder à son extraction par l'ouverture rectangulaire situé sur le côté de la cloche en Plexiglas®, qui permet aussi la diffusion du son.

- 2/ Des planchettes en bois sont ensuite clouées sur le polystyrène. Certaines sont recouvertes au préalable d'une couche de peinture acrylique, blanche, dont l'application sommaire laisse la majeure partie du bois à nu.
- 3/ Les rails sont cloués sur ces planchettes. L'écartement des rails est de 9 mm, ce qui correspond à l'échelle N utilisée en modélisme.
- 4/ Les volumes sont alors tapissés d'une première couche de glace royale, de consistance liquide. Son rôle est de servir d'interface entre le support et une seconde couche plus épaisse qui, sans cela, n'adhérerait que très difficilement. En effet, elle risquerait de se décoller une fois sèche. Cette seconde couche est appliquée avec une poche à douille munie d'un embout cannelé et dont le diamètre varie de 10 à 22 mm.
- 5/ Une peinture bleue, de type acrylo-vinyle⁵, a été employée pour retoucher les bords des planchettes en bois, du polystyrène, du contreplaqué et de la glace royale en périphérie. Il s'agit d'une intervention d'origine servant principalement à dissimuler les matériaux utilisés pour la construction de la structure.
- 6/ Le décor est ensuite agrémenté de lichens naturels teintés et de petits cailloux blancs.
- 7/ L'ensemble est surmonté d'une cloche en Plexiglas[®], fixée par des vis dans l'épaisseur de la planche.

4. État de conservation

À son arrivée dans nos ateliers, *Trans Europe Express* présentait de nombreuses altérations. La surface était recouverte d'un léger dépôt poussiéreux. Les parois de la cloche en Plexiglas[®] étaient disjointes sur deux angles. On observait également deux fentes près du magnétophone, ainsi que de nombreuses éraflures. La peinture bleue sous les rails s'écaillait par endroits, laissant apparaître la sous-couche blanche. Les lichens étaient devenus cassants et avaient perdu de nombreuses ramifications. Certains ayant subi une décoloration tandis que d'autres présentaient un fort assombrissement.

Le relief en glace royale, quant à lui, était dans un état particulièrement préoccupant. Il montrait à plusieurs endroits des signes d'usures. Le mauvais maintien de la cloche en est la cause. Certaines vis étant manquantes, celle-ci a conservé une certaine mobilité. Lors des différents transports, les mouvements de la cloche ont entraîné un frottement systématique avec la glace royale et donc l'abrasion du décor. De plus, la glace royale est parfois débordante par rapport à la planche de contreplaqué. Elle est donc par endroit en contact direct avec le Plexiglas[®]. Cela a provoqué plusieurs ruptures mécaniques du décor comme des écrasements et des cassures, localisées sur le pourtour. Nous avons également observé des manques sur les arêtes et certaines parties saillantes du décor. Ils sont l'œuvre de souris dont on peut observer les empreintes de dents. Leur présence est confirmée par leurs déjections, très largement réparties à la surface du relief.

⁵ Lors des entretiens, l'artiste nous a indiqué avoir également utilisé la peinture Flashe[®] pour peindre le pourtour de l'œuvre. Cette information a été corroborée par une série de tests de solubilisation effectué en atelier et qui se sont révélés positifs à l'acétone et à l'éthanol. COURSEAUX, 2012, p. 257.

Des taches brunes constellent la totalité du décor en glace royale (Fig. 3). Elles ne présentent pas toutes les mêmes caractéristiques. Elles ont donc été classées selon leur couleur, leur forme et leur aspect :

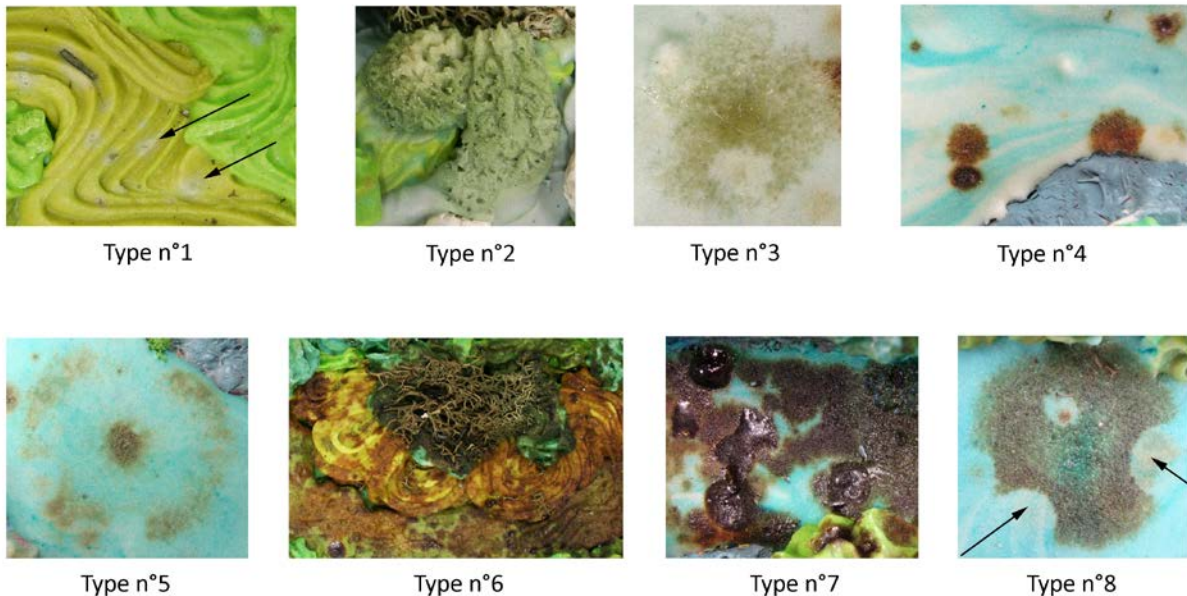


Fig. 3 : Classification des taches brunes.

- Le type n° 1 correspond à une légère décoloration. Il ne s'agit pas ici de tache mais d'un éclaircissement, souvent de couleur grisâtre. Cette altération d'environ 0,2 cm de diamètre, se présente sous la forme d'un piquetage de la surface.
- Le type n° 2 équivaut à une décoloration. La glace royale en contact avec les lichens a perdu sa teinte originale. Cela se traduit par l'apparition d'une auréole de 2,5 cm de diamètre, dont le liseré plus foncé correspond à la couleur du lichen.
- Le type n° 3 regroupe des auréoles dont l'aspect évoque une solubilisation de la glace royale. Leur couleur ne change que très légèrement et correspond à un assombrissement de la teinte originale. Leur diamètre est compris entre 0,3 et 0,8 cm.
- Le type n° 4 est pareil à un léger brunissement. Il regroupe toutes les taches entre 0,1 et 1,5 cm, dont la couleur est d'un brun clair presque orangé. Elles peuvent être accompagnées de déjections de souris, qui ont parfois causé une dépression dans la glace royale.
- Le type n° 5 se compose d'une tache au centre accompagnée d'une auréole. Leur forme particulière de « disque parfait » n'est pas sans rappeler l'impact d'un liquide sur une surface. Leur taille varie mais se situe généralement autour de 1,5 cm de diamètre. Il pourrait s'agir d'urine de souris, qu'elles déposent sur leur trajet sous forme de gouttelettes.
- Le type n° 6 s'apparente à un brunissement d'une couleur brun orangé plutôt sombre. Il apparaît en grande étendue, jamais sous forme de disque. La taille des taches est variable, la plus grande atteint 20 cm en longueur et 7 cm en largeur.
- Le type n° 7 apparaît comme l'assombrissement le plus marqué sur *Trans Europe Express*. Il peut s'étendre jusqu'à 15 cm en longueur et 7 cm en largeur. Dans ce cas précis, la consistance de la glace royale est modifiée. Cela va d'un simple ramollissement à l'apparition de zones poisseuses. Nous observons également une dissolution marquée de la surface, qui présente un aspect piqueté.
- Enfin, le type n° 8 rassemble toutes les taches présentant des découpes à l'emporte pièce d'une régularité étonnante, allant de 0,5 à 1 cm. Nous ne sommes actuellement pas en mesure d'expliquer ce phénomène.

Le brunissement de la glace royale s'avère l'altération la plus importante. Il représente de ce fait, le problème majeur de conservation et de restauration. Les causes et la nature de cette altération demeuraient inconnues. En effet, *Trans Europe Express* constituait un cas atypique et sans précédent. Par conséquent, l'étude à porté sur la compréhension de ce phénomène.

5. Recherches

5.1. Étude du processus d'altération de la glace royale

En premier lieu, nous avons recherché la trace de micro-organismes. L'analyse des prélèvements de glace royale brunie s'est avérée négative⁶. Nous pouvons donc affirmer qu'il ne s'agit pas d'une attaque fongique ou bactérienne. Le seul exemple d'une altération similaire, que nous ayons trouvé dans le domaine de la conservation-restauration, concerne des crânes mexicains de département d'ethnographie du British Museum (Fig. 4). Ils affichent la même altération que *Trans Europe Express* et sont aussi ornés de glace royale⁷.

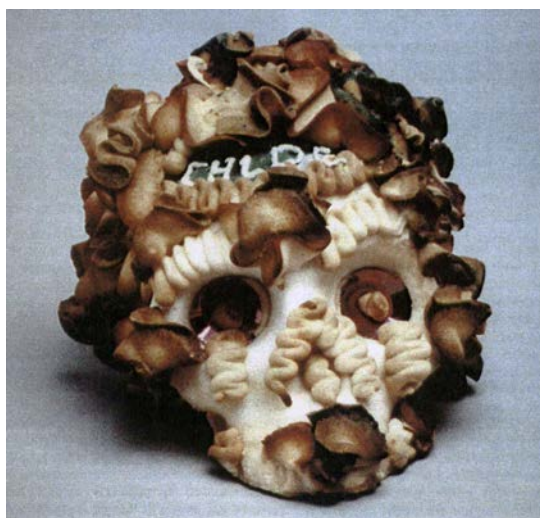


Fig. 4 : *Chlöe*, 1969, Glace royale.

L'étude⁸ menée par M. Vincent Daniels⁹ et Mme. Guinevere Lohneis¹⁰ ainsi que d'autres recherches étendues au domaine de l'agro-alimentaire, ont permis d'identifier deux réactions pouvant correspondre au brunissement de la glace royale : le brunissement enzymatique et la réaction de Maillard.

⁶ Analyses effectuées par Alexandre François du Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques.

⁷ Le mélange utilisé pour la fabrication de la partie principale des crânes mexicains est constitué de 5 kg de sucre, 1,5 kg d'eau, d'un jus de citron et d'une cuillère à soupe de bitartrate de potassium (crème de tartre). Il est ensuite chauffé dans une poêle et versé dans un moule. Certains utilisent un mélange fait à partir de sucre glace, de blanc d'œuf, de quelques gouttes de citron et d'une poudre de la racine appelée Chault (*Prophyllum coloratum*). CARMICHAEL, SAYER, 1991.

⁸ DANIELS, LOHNEIS, 1997, p. 17-25.

⁹ M. Vincent Daniels a obtenu une licence en science et un doctorat en chimie à l'Université de Cardiff. Il a travaillé au sein du département de conservation du British Museum à partir de 1974 et ce jusqu'en 2003, date à laquelle il devient chercheur pour le Royal College of Art.

¹⁰ Mme. Guinevere Lohneis a obtenu une licence en histoire à l'Université de Londres et une licence en chimie à « l'Université ouverte » du Royaume-Uni.

Nous avons tout d'abord orienté nos recherches sur le brunissement enzymatique. Ce processus correspond à la transformation de composés phénoliques¹¹ en quinones¹², qui s'oxydent à leur tour en polymères de couleur brune¹³. Cela nécessite la présence d'oxygène et d'enzymes¹⁴, qui sont actifs si le pH est compris entre 6 et 6,5¹⁵. Dans le cas de *Trans Europe Express*, ce type de réaction a pu être déclenché par la présence de tyrosine, contenue dans le blanc d'œuf¹⁶. Cet acide aminé est un composé phénolique, indispensable au brunissement enzymatique¹⁷. Mais le blanc d'œuf contient également un autre acide aminé : la cystéine, sensée inhiber la réaction¹⁸. Malgré tout, la présence de quinones a été mise en évidence lors des tests¹⁹. Cependant, l'apparition de quinones reste une étape intermédiaire du processus. Les polymères bruns issus du brunissement enzymatique n'ayant pas été détectés²⁰, rien ne permet de valider cette hypothèse.

Nous nous sommes alors reportée vers une réaction de brunissement non enzymatique : la réaction de Maillard²¹. Elle n'a pas été totalement élucidée d'un point de vue chimique et ses différentes étapes font toujours l'objet de nombreuses études dans le domaine de la santé²² et de l'agro-alimentaire²³. Nous pouvons néanmoins la résumer ainsi : elle se définit comme l'ensemble des interactions résultant de la réaction initiale entre un sucre réducteur²⁴ (glucose, fructose, ribose, etc.) et un groupement α -aminé²⁵ (acides aminés, protéines, peptides, etc.). Elle est irréversible et aboutit à la formation de polymères bruns ou noirs insolubles, regroupés sous le terme générique de mélanoïdines²⁶. Dans le cas de *Trans Europe Express*, on retrouve les acides aminés dans le blanc d'œuf. En revanche, le sucre glace n'est pas un sucre réducteur mais un disaccharide. Il peut néanmoins s'hydrolyser en présence d'eau, pour

¹¹ Il s'agit de flavonoïdes ($C_6C_3C_6$) contenus dans le sucre.

¹² De formule $C_6H_4O_2$, il s'agit de dicétones aromatiques. DELCROIX, PAGNOUX, à paraître, p. 17.

¹³ PILIŽOTA, ŠUBARIĆ, 1998, p. 220.

¹⁴ *Ibid.*

¹⁵ DELACHARLERIE, DE BIOURGE, CHÈNÉ, SINDIC, DEROANNE, 2008, p. 20.

¹⁶ BUREAU, 1992, p. 17.

¹⁷ PILIŽOTA, ŠUBARIĆ, 1998, p. 220.

¹⁸ BUREAU, 1992, p. 17.

¹⁹ Analyses effectués par Gilbert Delcroix, ingénieur et docteur ès sciences physique, spécialisé en science de la conservation-restauration des biens culturels. Le premier test à l'ammoniaque s'est révélé positif, de même qu'un second test au bromhydure de sodium.

²⁰ Analyses réalisées par Infrarouge à Transformée de Fourier (IRTF) et spectroscopie Raman au CICRP de Marseille par Alain Colombini.

²¹ La réaction de Maillard porte le nom du médecin et chimiste qui l'a découverte en 1912 : Louis-Camille Maillard. Alors qu'il travaillait sur la synthèse de protéines en chauffant des mélanges glucose-glycine, il obtint par hasard des substances aromatiques et colorées qu'il identifia comme des polymères bruns responsables de la couleur et de la saveur de nombreux aliments. Il publiera sa découverte le 27 Novembre 1911 sous le nom : *L'action des sucres sur les acides aminés* et la développera dans un ouvrage intitulé *Genèse des matières humiques et des matières protéiques* en 1913. MAILLARD, 1913.

²² En effet, depuis le milieu du XX^e siècle, les travaux sur la réaction de Maillard n'ont jamais cessé. Ils se sont même trouvés relancés lorsque l'on a mis en évidence leur développement à l'intérieur même des cellules et seraient, en partie, la cause du vieillissement cellulaire.

²³ Cette réaction revêt une importance énorme dans la chimie des aliments car elle a lieu, entre autre, lors de leurs stockage. Elle est principalement responsable de la production des odeurs, des arômes, et des couleurs caractéristiques des aliments cuits.

²⁴ Les sucres réducteurs sont constitués par l'ensemble des sucres à fonction cétonique et aldéhydique.

²⁵ DANIELS, LOHNEIS, 1997, p. 17-25.

²⁶ Les molécules colorées (mélanoïdines) produites lors des réactions de Maillard sont extrêmement nombreuses. Ainsi dans l'article de Nursten, c'est près d'une quarantaine de molécules hétérocycliques azotées ou non qui sont répertoriées. Globalement, ce sont des polymères de fort poids moléculaire qui contiennent des furannes et de l'azote et qui peuvent contenir des groupes carbonyle, carboxyle, amine, amide, pyrrole, indole, esther, anhydride, éther, méthyle et hydroxyles. NURSTEN, 2005, p. 53-61.

former une molécule de glucose et de fructose qui sont, eux, des sucres réducteurs. Des tests ont d'ailleurs confirmé leur présence sur *Trans Europe Express*²⁷. L'inondation des réserves, dans lesquelles l'œuvre était stockée, est à l'origine de ce phénomène.

L'étude menée par M. Vincent Daniels et Mme. Guinevere Lohneis confirme cette hypothèse. Les résultats obtenus montrent que le brunissement augmente lorsque l'humidité relative, la température et l'acidité augmentent. D'après leurs analyses par chromatographie gazeuse et par tests chimiques, ils attribuent également la cause du brunissement à la réaction de Maillard. Cependant, la composition des glaces royales dans cette précédente étude était légèrement différente²⁸. Par conséquent, nous ne pouvions pas exploiter directement les résultats. Une recherche a donc été menée en collaboration avec le Centre interdisciplinaire de conservation et restauration du patrimoine de Marseille (CICRP). Son but était de vérifier l'hypothèse d'une réaction de Maillard mais aussi de déterminer les facteurs qui en seraient la cause.

5.2. Protocole de l'étude

Nous avons tout d'abord réalisé des éprouvettes avec de la glace royale assez liquide, puis avec de la glace royale plus épaisse afin de reconstituer la stratigraphie originale²⁹. Pour ce faire, nous avons sélectionné les produits suivants :

- Un sucre glace Saint Louis[®] composé à 97 % de sucre et à 3 % d'amidon. Ce produit correspondait *a priori* au type de sucre glace amylacé utilisé par l'artiste.
- Des peintures de la gamme Flashe[®] de couleurs différentes³⁰, chacune correspondant à une couleur sur *Trans Europe Express*.
- Quatre émulsions vinyliques de pH différents car la colle utilisée par Dorothee Selz demeure inconnue et qu'elle peut influencer la réaction. Il s'agit de : Vinamul[®] 3254 (pH = 4), VR 200[®] (pH = 5), Dalbe Vinyl[®] (pH = 6), colle blanche ST[®] EM 91136D de chez Stouls (pH = 7)³¹.

Dans le cadre de l'étude, le polystyrène et le contreplaqué ne servent pas de support à la glace royale comme c'est le cas sur *Trans Europe Express*. En effet, ces matériaux peuvent interférer dans le processus de vieillissement artificiel et fausser les résultats des tests. Les tests sont donc réalisés sur des lamelles en verre. Ce matériau inerte chimiquement³² permet d'éviter toute interaction possible avec la glace royale. Les préparations liquides ont été réalisées avec : 1 blanc d'œuf, 135 g de sucre glace, 12 g de peinture. La glace royale est ensuite divisée en quatre parts égales. À chaque part est ajouté cinq grammes d'une des quatre colles vinyliques citées précédemment. Les préparations épaisses ont été élaborées de la

²⁷ Le test à la liqueur de Fehling, effectué par Gilbert Delcroix, s'est avéré positif.

²⁸ Trois recettes de glaçage ont été testées. Un glaçage à l'eau préparé avec 5 ml d'eau et 50 g de sucre glace. Une glace royale obtenue avec un blanc d'œuf et 250 g de sucre glace. Une glace royale fabriquée de la même manière que la précédente mais avec un ajout de 2 % et 4 % de jus de citron.

²⁹ Ainsi les éprouvettes de la préparation liquide correspondent à la première couche sur *Trans Europe Express* tandis que les éprouvettes de préparation épaisse correspondent à la seconde.

³⁰ Tout en sachant que sa composition pouvait être différente à l'époque de création de l'œuvre. En effet, les premières peintures Flashe[®], dites « gouaches vinyliques » étaient plastifiées avec 16 % de phtalate de dibutyle (un plastifiant externe). Mais à partir de 1970, elles sont plastifiées par copolymérisation avec un plastifiant interne et non plus par simple mélange avec un plastifiant externe, qui disparaît peu à peu.

³¹ Les tests ont été effectués à l'aide de bandelettes pH. Ces mesures correspondent au pH des émulsions avant séchage. Les mesures de pH apparent, faites sur les émulsions après séchage, sont toutes égales à 7.

³² Dans les conditions normalisées des tests.

même manière. Seule la quantité de sucre a été modifiée (180 g). Avant toute application de glace royale, les lamelles sont dégraissées à l'aide d'un agent tensio-actif anionique (Teepol 617). Les préparations liquides et épaisses sont alors étalées sur la surface en verre à l'aide d'une spatule en inox. Une fois séchée à l'air libre, la couche de préparation liquide correspond à une épaisseur comprise entre 1 et 2 mm alors que celle de la préparation épaisse est de 3 à 4 mm. Indépendamment, une série incolore (sans ajout de peinture) a testé l'action d'urine et de déjections de souris sur la glace royale et les lichens³³. L'ensemble des éprouvettes a été soumis à un vieillissement artificiel dans une enceinte Vötsch VC4034 pendant vingt-huit jours. Les cycles continus s'effectuaient à une température de 60° C et une humidité relative de 75 %. L'évaluation des changements de couleurs et des modifications chimiques ont été réalisées par spectrocolumétrie et Infrarouge à Transformée de Fourier (IRTF) au CICRP de Marseille.

5.3. Résultats

Sur l'ensemble des échantillons testés, deux cas de brunissement sont apparus sur le mélange n° 0 et n° 2, tout deux réalisés à partir de la colle Vinamul® (Fig. 5). Il se pourrait donc que la nature de la colle vinylique ait une incidence. Son pH de 4 pourrait favoriser ou engendrer la réaction de Maillard. Cette hypothèse demande à être confirmée par une plus grande série de tests.

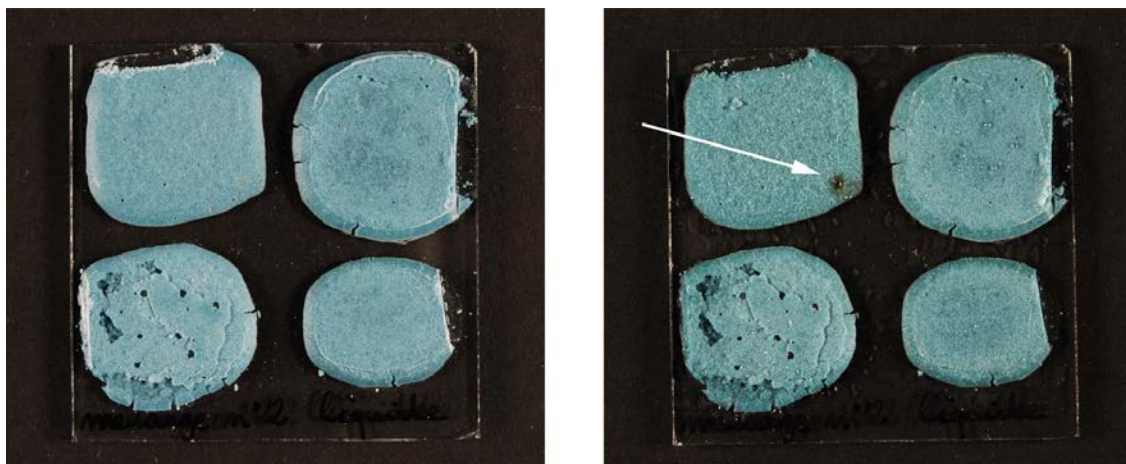


Fig. 5 : Série n° 2 (glace royale de préparation liquide) avant et après vieillissement artificiel.

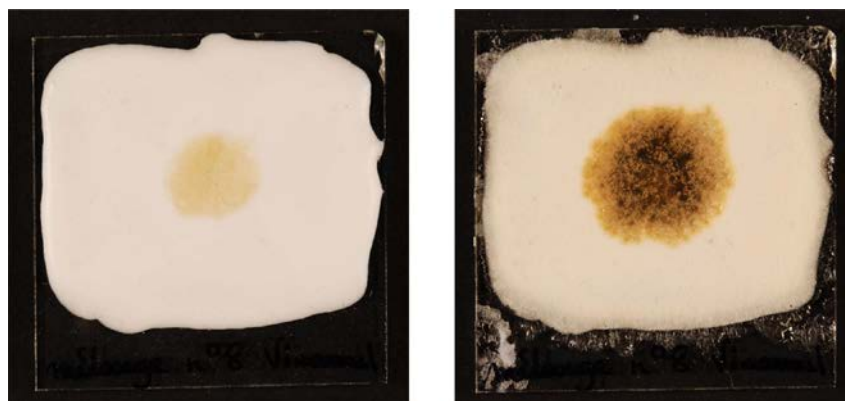


Fig. 6 : Série n° 8 (glace royale avec urine de rongeur) avant et après vieillissement artificiel.

³³ Les éprouvettes de cette série ont été placées dans une cage remplis de souris suffisamment longtemps, pour que celles-ci y déposent leur urines et leur déjections.

La série de tests n° 8 montre qu'en présence d'urine et de déjections de rongeur l'apparition du brunissement est nettement accentuée, que leur action soit combinée ou non (Fig. 6). La morphologie des zones altérées est très proche de celles observées sur *Trans Europe Express*. Ainsi, les auréoles jaunâtres et brunes qui ont été obtenues par vieillissement accéléré se rapprochent des taches de type n° 4. Il est également possible de distinguer de petites cavités d'un brun très sombre, semblables à celles des taches de type n° 7. Le brunissement est apparu sur un échantillon de glace royale aussi bien épaisse que liquide. La consistance du mélange n'a donc aucun effet sur la réaction. Il en est de même pour sa couleur. Par contre, les tests ont confirmé l'action d'une humidité relative et d'une température élevée. Nous sommes désormais absolument sûrs que ces deux facteurs sont à l'origine de la dégradation et donc du brunissement.

Trans Europe Express a subi dans un premier temps une hydrolyse du saccharose, qui s'est poursuivie par une réaction de Maillard. Seules *Table* et *Sans titre* qui appartiennent également au CNAP, présentent à notre connaissance ce même phénomène de brunissement (Fig. 7).

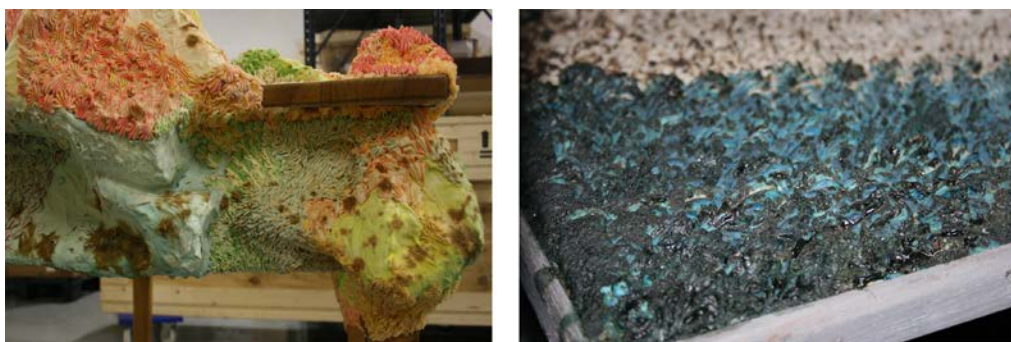


Fig. 7 : Brunissement de la glace royale sur *Table* (gauche) et *Sans titre* (droite).

Tout comme *Trans Europe Express*, elles ont été conservées dans des réserves ayant subi des inondations. Nous pouvons conclure que leurs conditions de stockage sont un facteur clef de cette dégradation si spécifique. D'autant plus que les lichens présent sur l'œuvre peuvent agir comme des éponges et retenir l'humidité. Les tests effectués lors de cette étude ont mis en évidence les dangers d'une humidité relative et d'une température élevées. De ce fait, il est impératif de respecter certaines conditions de conservation. Nous nous sommes basé pour cela sur les préconisations faites par M. Vincent Daniels et Mme. Guinevere Lohneis, qui ont pu tester différents taux d'humidité relative et de température. L'environnement idéal se situe à un taux d'humidité relative inférieure à 30 % et à une température de 15 °C (± 2 °C). Nous n'avons malheureusement pas disposé de suffisamment de temps afin d'établir un pronostic quant à l'évolution des taches. Cependant, nous n'avons constaté aucune évolution du brunissement durant les dix-huit mois consacrés à la restauration de l'œuvre. Selon Annie Demange il en serait de même pour *Table*, qui n'a pas montré de nouvelles taches depuis sa restauration en avril 2011.

6. Traitement

Avant toute intervention, un dépoussiérage est effectué à l'aide d'une brosse à poils souples et d'une aspiration contrôlée. Les déjections de souris ont été éliminées avec une précelle et un scalpel.

Les lichens se sont décolorés, nettement assombris et ne s'intègrent plus aussi discrètement au paysage. Ils ont perdu de leur souplesse au fil du temps et sont devenus cassants, ce qui a entraîné la rupture de nombreuses ramifications. Ils ne peuvent être remplacés sans abîmer la glace royale dans laquelle ils sont retenus. De plus, les lichens de substitution finiraient, eux aussi, par se fragiliser. Les lichens restants sont donc consolidés afin de minimiser la perte de rameaux. Le solvant utilisé ne doit entraîner aucune solubilisation de leurs colorants et de la glace royale. À l'issue des tests³⁴, le white spirit apparaît comme le seul à être sans danger pour les deux matériaux. L'extrême fragilité des lichens a imposé l'aérographe comme étant le seul mode d'application adéquat. Il permet une consolidation à cœur et sans risque de casser les rameaux. Après plusieurs tests, notre choix s'est porté sur la résine Regalrez 1126^{®35}. Elle offre à faible concentration la meilleure résistance mécanique et une mise en œuvre aisée. La glace royale est protégée grâce à du film étirable. Des poids sont disposés en périphérie et aident au maintien du film lors de la pulvérisation. Sous hotte aspirante, un mélange de Regalrez[®] à 5 % dans le white spirit est appliqué à deux reprises sur les rameaux fragilisés.

Après consolidation, ils sont retouchés pour mieux s'intégrer au paysage, comme l'a voulu Dorothée Selz (Fig. 8). Pour cela, nous avons retenu les peintures Gamblin^{®36}, qui ont montré lors des tests les meilleurs résultats en terme de pouvoir couvrant, de luminosité et de mise en œuvre. De plus, elles possèdent un bon vieillissement et sont compatibles avec le Regalrez[®] utilisé pour la consolidation. Avant toute application, un échantillonnage de couleurs a été réalisé sur des lichens tests. Il a servi de référence pour la retouche car aucun document ne fait état de leurs couleurs avant brunissement. Nous nous sommes basée pour sa réalisation, sur les couleurs persistant à l'extrémité de certains lichens et les indications de Dorothée Selz. Trois teintes ont été déterminées : un grenat, un vert jaune et un vert bleuté. Les tests de solubilisation sur les lichens originaux ont confirmé l'existence de ces trois couleurs. Ils ont aussi révélé la présence d'un grenat plus orangé. La retouche des lichens s'est effectuée avec la participation de Dorothée Selz. À partir de l'échantillonnage, nous avons sélectionné ensemble quatre couleurs qui semblaient les plus proches des couleurs originales. De nouveaux tests de solubilisation sont effectués pour déterminer l'emplacement de chaque couleur. La glace royale est ensuite protégée avec du film étirable. Les lichens sont retouchés avec des couleurs Gamblin[®] diluées dans l'isopropanol et appliquées à l'aérographe.



Fig. 8 : Lichens et glace royale avant et après retouche.

³⁴ Il est question de tests de solubilisation. Ils sont effectués sur des prélèvements de lichens et de glace royale provenant de *Trans Europe Express*. Les échantillons sont alors plongés durant 24 h dans différents solvants.

³⁵ Il s'agit d'une résine aliphatique à bas poids moléculaire (1250g/mol).

³⁶ Elles sont fabriquées à base de Laropal A81[®], une résine urée-aldéhyde.

Concernant la glace royale, nous avons procédé à une retouche afin de restituer l'aspect comestible et appétissant voulu par Dorothée Selz (Fig. 8). De plus, le caractère irréversible de la réaction et la formation de polymères bruns insolubles empêchent tout traitement par voie chimique. Nous avons également sélectionné les produits Gamblin[®] pour leur bonne capacité à l'étalement³⁷ et leur fort pouvoir couvrant. Contrairement à l'aquarelle ou aux peintures acryliques, ils ne risquent pas non plus d'endommager la glace royale qui est sensible à l'eau et à l'acétone³⁸. Les différentes études de René de la Rie³⁹ ainsi qu'une intervention aux douzièmes journées d'étude de la SFIIC⁴⁰, ont prouvé leurs bon vieillissement. Malgré cela, nous avons tenu à vérifier leur innocuité sur la glace royale. Les tests de vieillissement artificiel effectués avec le CICRP ont montré qu'elles étaient sans danger⁴¹. La retouche a pu ainsi être exécutée au pinceau sous une lumière du jour. La peinture bleue sous les rails, est retouchée selon le même procédé après un bouchage des lacunes au mastic Modostuc[®]. Ces interventions ont permis de rétablir l'unité de *Trans Europe Express* et la réintégration des lichens au sein du paysage.

Trans Europe Express mobilise un ensemble d'expériences, aussi bien visuelles qu'auditives. C'est pourquoi, il est important de réactiver sa dimension sonore. Il est possible d'utiliser à nouveau le magnétophone d'origine si l'on en change les piles. Cependant, pour plus de facilité lors des expositions, nous avons fait le choix de le remplacer par un magnétophone exactement identique, qui a été entièrement démonté et dont les composants électroniques ont été extraits. Ils sont conservés à part avec le magnétophone original, ainsi il est possible de revenir à un état antérieur en le réinstallant. Les composants électroniques pourront servir de rechange en cas de panne. La coque extérieure du magnétophone de substitution est conservée. Elle permet de glisser à l'intérieur un lecteur MP3 Sony[®] raccordé à deux enceintes X-mini[®] qui diffuseront la bande-son numérisée (Fig. 9).

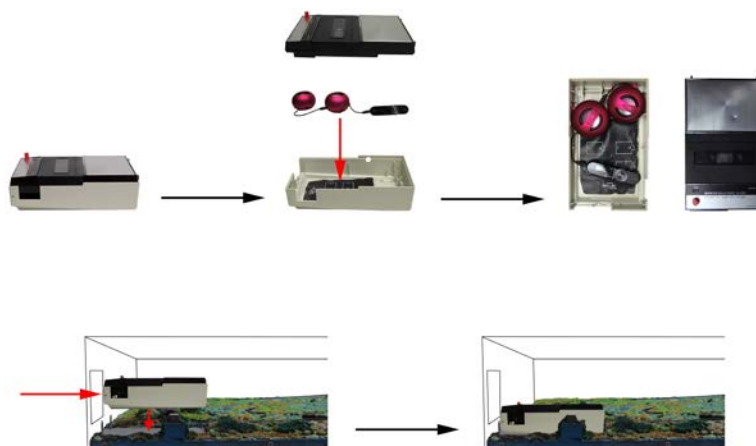


Fig. 9 : Protocole d'installation du système sonore.

³⁷ Ceci est dû à la masse moléculaire particulièrement basse du Laropal A81[®].

³⁸ Les peintures Gamblin[®] sont solubles dans l'isopropanol, un solvant inoffensif pour la glace royale.

³⁹ DE LA RIE, MARK, GAMBLIN, WHITTEN, 2000, p. 29-33 ; DE LA RIE, QUILLEN LOMAX, PALMER, DEMING GLINSMAN, MAINES, 2000, p. 51-59.

⁴⁰ SZMIT-NAUD, 2006, p. 66-75.

⁴¹ Des tests ont été réalisés avec de la glace royale non colorée, étalée sur des éprouvettes en verre. Différentes peintures servant à la retouche, dont les produits Gamblin[®], ont été appliquées sur celle-ci au pinceau. Les éprouvettes ont été soumises à un vieillissement artificiel durant quinze jours, à des cycles continus de température à 60 °C et d'humidité à 75 %. Après une première évaluation à l'œil nu et des analyses par spectrophotométrie et IRTF, aucune modification n'est visible sur les produits de retouche Gamblin[®].

La numérisation de la bande-son a été réalisée avec le logiciel Audacity® et un magnétophone numérique professionnel. Elle a été enregistrée à partir d'une copie cassette fournie par le FNAC, qui n'a pas pu nous prêter l'original. Les deux faces ont été regroupées sur un fichier au format WAV et sauvegardées sur un CD. L'étiquette de la cassette originale a été scannée, puis imprimée sur un papier autocollant et appliquée sur la copie. Selon les souhaits de l'artiste, ce système permet de limiter l'écoute au cadre de *Trans Europe Express* tout en conservant l'aspect extérieur du magnétophone.

Le couvercle en Plexiglas® présente de multiples rayures qui gênent la visibilité du relief. Il constitue même un facteur d'altération pour la glace royale. Sa seule fonction étant de protéger l'œuvre, nous avons décidé de le remplacer par un couvercle en Plexiglas® semblable. Les dimensions du nouveau couvercle sont agrandies de 6 mm en largeur et en longueur. Cela permet l'insertion de cales en balsa au niveau des vis.

Leur but est d'empêcher le frottement de la cloche sur la glace royale et donc les pertes de matière. Elles permettent aussi d'éviter un serrage excessif qui pourrait entraîner de nouvelles fentes dans le Plexiglas®. Pour plus de discrétion, elles ont été taillées en biseau et retouchées à l'aide de peinture acrylique. L'ouverture qui constitue une voie d'accès aux rongeurs sera fermée lors du stockage par un opercule en Plexiglas®.

Conclusion



Fig. 10 : *Trans Europe Express* avant et après restauration.

Les problématiques soulevées par la restauration de *Trans Europe Express* m'ont permis d'étendre mes connaissances à une grande variété de matériaux, assez peu connus et auxquels nous sommes rarement confrontés dans le domaine de la conservation-restauration. La majeure partie de mon travail a donc consisté dans l'étude de la glace royale, principal composant de l'œuvre, afin d'en comprendre le processus de brunissement et d'en dégager les principaux facteurs d'altération. Étant donné le caractère irréversible de la dégradation, la

mise en place de mesures préventives est essentielle. Des conditions de stockage appropriées (humidité relative et température basse) en minimiseront l'altération. Ces préconisations préviendront également la dégradation d'autres œuvres constituées elles aussi de glace royale. Ce cas particulier met en exergue les limites atteintes par la conservation-restauration en art contemporain lorsqu'il s'agit d'intervenir directement sur des matériaux foncièrement instables.

La collaboration avec Dorothee Selz s'est avérée extrêmement enrichissante aussi bien sur le plan artistique, technique que personnel. Il en résulte une documentation conséquente, fruit d'un échange productif. Ainsi, la restauration a permis de restituer l'unité de *Trans Europe Express*, dans le respect des intentions de l'artiste et de ce qui constitue l'essence même de l'œuvre (Fig. 10).

Bibliographie

ASHOOR, S.H., ZENT, J.B., "Maillard Browning of Common Amino Acids and Sugars", dans *Journal of Food and science*, vol. 49, 1984, p. 1206-1207.

BUREAU, C., *Les analyses physico-chimiques appliquées à la restauration et à la conservation des oeuvres d'art*, INFORMA Etudes, Recherches, Traitements. Conservation-Restauration du Patrimoine Culturel, 1992.

CARMICHAEL, E., SAYER, C., *The Skeleton at the Feast, The Day of the Dead in Mexico*, London, British Museum Press, 1991.

COURSEAUX, M., *Trans Europe Express, Étude et restauration d'une œuvre de Dorothee Selz*, mémoire de diplôme en conservation-restauration des œuvres sculptées, Tours, Esba TALM, 2012.

COUTEAU, J., DAMIENS, L., GIRARD-FASSIER, G., *Offrandes, Dorothee Selz*, Clermont-Ferrand, Un, deux... Quatre, 2003.

CRISCI, G. M., LA RUSSA, M. F., MALAGODI, M., RUFFOLO, S. A., "Consolidating properties of Regalrez 1126[®] and Paraloid B72[®] applied to wood", dans *Journal of Cultural Heritage*, 2010, Vol. 11, p. 304-308.

DANIELS, V., LOHNEIS, G., "Deterioration of sugar artifacts", dans *Studies in conservation*, 1997, vol. 42, n° 1, p. 17-25.

DE LA RIE, E. R., MARK, L., GAMBLIN, R., WHITTEN, J., "Development of a New Material for Retouching", dans *Tradition and Innovation : Advances in Conservation*, IIC 2000 Melbourne Congress, London, International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, 2000, p. 29-33.

DE LA RIE, E. R., QUILLEN LOMAX, S., PALMER, M., DEMING GLINSMAN, L., MAINES, C.A., "An investigation of the photochemical stability of urea-aldehyde resin retouching paints", dans *Tradition and Innovation: Advances in Conservation*, IIC 2000 Melbourne Congress, London, International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, 2000 p. 51-59.

DELCROIX, G., PAGNOUX, M., *Matière à peindre, Dictionnaire technique et critique de la substance picturale, de l'œuvre peinte & de ses composants matériels et immatériels*, à paraître.

ELARBI, S., CLOUTEAU, I., « Exposer et pérenniser l'œuvre contemporaine », *Penser autrement l'art contemporain*, dans *Techné*, n° 24, 2006, p. 69-73.

ELLIS, G. P., "The Maillard reaction", dans *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry*, vol. 14, 1959, p. 63-134.

DELACHARLERIE, S., DE BIOURGE, S., CHÈNÉ, C., SINDIC, M., DEROANNE, C., *HACCP organoleptique, guide pratique*, Gembloux, Presse agronomiques de Gembloux, 2008.

HODGE, J.E., "The Amadori Rearrangement", dans *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry*, vol. 10, 1955, p. 169-205.

MAILLARD, L.-C., *Action de la glycérine et des sucres sur les acides gras-aminés : cyclo-glycyl-glycines et polypeptides; mélanoidines et matières humiques*, Laval, L. Barnéoud, 1913.

MAILLARD, L.-C., *Genèse des matières protéiques et des matières humiques : action de la glycérine et des sucres sur les acides aminés*, Paris, Masson, 1913.

MATHLOUTHI, M., REISER, P., *Le saccharose : propriétés et applications*, Paris, Polytechnica, 1995.

NURSTEN, H., *The Maillard Reaction, Chemistry, Biology and Implications*, Londres, Royal Society of Chemistry, 2005.

PEREGO, F., *Dictionnaire des matériaux du peintre*, Paris, Belin, 2005.

PILIŽOTA, V., ŠUBARIĆ, D., « Control of Enzymatic Browning of Foods », dans *Food Technology and Biotechnology*, 1998, vol. 36, n° 3, p. 219-227.

SZMIT-NAUD, E., « Stabilité de la couleur et réversibilité des matériaux contemporains pour retouches des peintures » dans *Couleur & temps, La couleur en conservation-restauration*, 12^{es} journées d'études de la SFICC, Paris, 21-23 juin 2006, Champs-sur-Marne, SFIIC, 2006, p. 66-75.

PRESENTATION DU COMITE ORGANISATEUR

Les membres du comité d'organisation de JERI 2013 et une partie du comité de lecture sont des membres du Collectif des Conservateurs-Restaurateurs d'Aquitaine (2CRA), délégation régionale de la Fédération Française des professionnels de la Conservation-Restauration (FFCR). Nous remercions chaleureusement Camille Frédérique BLIND, secrétaire de la FFCR et Adèle FALCO, titulaire d'un Master 2 métiers de l'Art documentation régie des œuvres, pour leur aide précieuse et leur participation à la bonne réalisation de cette journée.

Supervision générale :

Isabelle DUCASSOU
Rebeca ZEA

Responsable programmation :

Rebeca ZEA

Responsables recherche subventions :

Isabelle DUCASSOU
Rebeca ZEA

Responsables recherche sponsors :

Adèle FALCO
Mélina GERVAIS
Cécile JAÏS-CAMIN

Responsable logistique:

Nathalie LEGILLON

Responsable publication :

Cécile PERRAULT

Responsable gestion des inscriptions :

Adèle FALCO

Responsables communication :

Camille Frédérique BLIND
Adèle FALCO
Cécile PERRAULT

Responsable secrétariat :

Isabelle DUCASSOU

Responsable trésorier :

Cécile JAÏS-CAMIN

PRESENTATION DU COMITE DE LECTURE

Les membres du comité de lecture de JERI 2013 sont des conservateurs-restaurateurs des différentes spécialités et des scientifiques, tous bénévoles.

Alejandra BALBOA GARCIA

Coralie BARBE

Marion BOSC

Marie Hélène BREUIL

Alexandre CORDOBA

François DUBOISSET

César DUMORA

Anaïs GAILHBAUD

Géraldine GIRARD

Rosalie GODIN

Nathalie LEGILLON

Grazia NICOSIA

Nicolas POIRIER

Anne Elizabeth ROUAULT