

COLLOQUE INTERNATIONAL SFIIC

2026



**Approches non invasives
d'étude et de recherche pour la
conservation du patrimoine**

**Non invasive study and research
approaches for cultural heritage
conservation**

**PARIS
29-30 JAN.**

COLLOQUE INTERNATIONAL SFIIC

2026

**Approches non invasives d'étude
et de recherche pour la
conservation du patrimoine**

Non invasive study and research
approaches for cultural heritage
conservation

Image de couverture : *Triptyque Maynier d'Oppède-Castellane, Vierge à l'Enfant* (panneau central anversois attribué au Maître au Perroquet, vers 1530).
Musée Granet, Aix-en-Provence, inv. 2020.4.1
Montage photographique réalisé à partir du dossier d'imagerie scientifique (CICRP)

PARIS
29-30 JAN.

comité de pilotage :

Nicolas Bouillon (CICRP, SFIIC), Sandie Le Conte (INP, SFIIC), Olivier Malavergne (LRMH), Amélie Méthivier (INP), Witold Nowik (LRMH, SFIIC), Lise Leroux (LRMH, SFIIC), Dominique de Reyer (SFIIC), David Giovannacci (LRMH), Nathalie Balcar (C2RMF, SFIIC), Rémi Catillon (CCVCM, SFIIC), Lorraine Mailho (SFIIC), Thierry Zimmer (SFIIC), Stéphanie Courtier (C2RMF, SFIIC), Gilles Barabant (C2RMF, SFIIC), Olivier Rolland (Restaurateur).



Ce colloque (identifiant projet : IDF-DIM-PAMIR-2025-2-003) est soutenu par la Région Île-de-France dans le cadre du Domaine de recherche et d'innovation majeur « Patrimoines matériels – innovation, expérimentation et résilience » – This symposium (project ID : IDF-DIM-PAMIR-2025-2-003) was supported by the Paris Île-de-France Region – DIM « Patrimoine matériels – innovation, expérimentation et résilience ».

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'Etat gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme d'investissement d'avenir intégré à France 2030, portant la référence ANR-17-EURE-0021 – Ecole Universitaire de Recherche Paris Seine Humanités, Création, Patrimoine – Fondation des sciences du patrimoine – This work benefited from State aid managed by the Agence Nationale de la Recherche (French National Research Agency) under the future investment program integrated into France 2030, bearing the reference ANR-17-EURE-0021 – Ecole Universitaire de recherche Paris Seine – Foundation for cultural heritage sciences.

La SFIIC (Section Française de l’Institut International de Conservation – IIC) est heureuse de vous accueillir à son colloque international 2026. Cette année, les communications orales et posters concerneront les méthodes et techniques non invasives d’examen, de diagnostic et d’analyse, utilisées à des fins d’étude et de recherche, pour la connaissance et la conservation des biens patrimoniaux. Ce colloque constitue une occasion précieuse de partager nos expériences et de développer une approche réflexive autour des questions de leurs apports et de leurs limites, de leur complémentarité avec d’autres techniques micro-destructives, de leur accessibilité et de leur appropriation par les professionnels de la conservation.

Le colloque international SFIIC 2026 est une co-production SFIIC-INP en partenariat avec le CICRP, le LRMH et le C2RMF. Il bénéficie du soutien financier du Domaine de recherche et d’innovation majeur (DIM) – Patrimoines matériels – innovation, expérimentation, résilience (PAMIR), de la Fondation des sciences du patrimoine (FSP) et de ses quatre partenaires privés : PRO-LITE Technology, ARDOP Industrie, HIROX et KEYENCE.

The SFIIC (French Section of the International Institute for Conservation – IIC) is pleased to welcome you to its 2026 international symposium. This year, oral presentations and posters will focus on non-invasive methods and techniques for examination, diagnosis, and analysis used for study and research purposes, for the knowledge and conservation of heritage assets. This conference provides a valuable opportunity to share our experiences and develop a reflective approach to issues such as their contributions and limitations, their complementarity with other micro-destructive techniques, their accessibility, and their adoption by conservation professionals.

The SFIIC 2026 International Symposium is a SFIIC-INP co-production in partnership with the CICRP, the LRMH and the C2RMF. It receives financial support from Domaine de recherche et d’innovation majeur (DIM) – Patrimoines matériels – innovation, expérimentation, résilience (PAMIR), of the Foundation For cultural heritage sciences (FSP), and its four private partners: PRO-LITE Technology, ARDOP Industrie, HIROX, and KEYENCE.

Programme - Conference Program

Jeudi 29 janvier -
Thursday 29th of
January

9.00 – 9.30

Accueil des participants

- Registration

9.30 – 10.00

Introduction du colloque –

Symposium introduction

Mireille Klein – SFIIC, Charles Personnaz – INP,
Pascal Liévaux – MC

10.00 – 10.05

SESSION 1: Imagerie 2D/3D –

2D/3D Imaging

Présidence / Chairperson :
Isabelle Pallot-Frossard – FSP

10.05 – 10.25

**An efficient field technique for
rapid macro-3D imaging of rock
surfaces for erosion measurement
and colour change.**

*L'imagerie macro-3D rapide :
une technique de terrain efficace
pour la mesure de l'érosion et du
changement de couleur des surfaces
rocheuses.*

Andrew Thorn

10.25 – 10.45

**Microscopie tridimensionnelle
par tomographie par cohérence
optique (OCT) au service de la
conservation-restauration.**

*Three-dimensional microscopy by
optical coherence tomography (OCT)
for conservation and restoration.*

Gaël Latour, Giulia Galante, Maëlle Vilbert,
Laetitia Desvois, Diane Le Corre, Lou
Archambault, Nicolas Saumagne, Marie-Claire
Schanne-Klein

10.45 – 11.05

**L'imagerie par transformation de la
réflectance (RTI) avec un dôme : un
outil non invasif d'identification,
de diagnostic et de suivi des objets
patrimoniaux.**

*Reflectance transformation imaging
(RTI) with a dome: a non-invasive
tool for the identification, diagnosis
and monitoring of cultural heritage
objects.*

Alexandra Lefebvre, Laura Brambilla, Christian
Degrigny, Marion Dangeon, Arianna Passaretti

11.05 – 11.20

Questions

11.20 – 11.35

Pause - Break

11.35 – 11.55

**Nouvelles imageries versatiles pour
l'étude de la palette des peintres
et de l'apparence visuelle des
œuvres modernes.**

*New versatile imageries for the
study of painters' palettes and the
appearance of modern artworks.*

*visual appearance of modern works
of art.*

Mathieu Thoury, Pauline Hélou de La Grandière, Vincent Gonzalez, Mathieu Hébert, Lionel Simonot, Chloé Coustet, Serge Cohen, Maxime Megel, Pierre Gueriau, Clara Hairie, Loïc Bertrand

11.55 – 12.15

L'imagerie comme méthode non invasive pour la conservation des peintures murales de Sainte-Croix-en-Jarez : apports et limites.

Scientific imaging as a non-invasive method for the conservation of the mural paintings of "Sainte-Croix-en-Jarez" : contributions and limitations.

Claire Bigand, Odile Guillon, Jean-Marc Vallet

12.15 – 12.45

Présentation invité – Invited

speaker :

El Mustapha Mouaddib, Université Picardie - Jules Vernes, Amiens, France.

Le patrimoine architectural sous l'angle du numérique.

Architectural heritage from a digital perspective.

12.45 – 13.00

Questions

13.00 – 14.15

Déjeuner buffet – buffet lunch

14.15 – 14.50

Flash poster présentations

14.50 – 14.55

SESSION 2 : Connaissance et caractérisation des matériaux et des techniques – Knowledge and characterisation of materials and techniques

Présidence / Chairperson :
Véronique Rouchon – CRC

14.55 – 15.15

Évaluation quantitative non invasive de la dégradation des parchemins par microscopie multiphoton.

Non-invasive quantitative evaluation of parchment degradation using multiphoton microscopy.

Lauriane Robinet, Giulia Galante, Margaux Schmeltz, Sylvie Heu-Thao, Marie-Claire Schanne-Klein, Elodie Leveque, Gaël Latour

15.15 – 15.35

Développement d'une méthodologie d'identification de gemmes sur les reliures d'orfèvrerie des collections de la BnF par spectroscopies XRF, réflectance et fluorescence à fibre optique et Raman.

Development of a methodology for identifying gems on goldsmith bindings in the BNF collections using XRF, reflectance and fiber optic fluorescence and raman spectroscopy.

Barbara Marjanovic, Eleonora Pellizzi, Lucy Cooper, Maxence Hermant, François Farges, Anne Michelin

15.35 – 15.55

Complementary investigation of pop art paintings by Jan Dobkowski (b.1942) using non-invasive methods and sampling.

Complémentarité des techniques d'investigation scientifique non destructives et micro-destructives sur les peintures pop art de Jan Dobkowski (né en 1942).

Miroslaw Wachowiak, Kinga Klemińska

15.55 – 16.15

Questions

16.15 – 16.25

Pause

16.25 – 16.45

Étude des matériaux du patrimoine culturel et naturel au synchrotron Soleil

Study of cultural and natural heritage materials at the Soleil synchrotron.

Solenn Reguer, Laurent Tranchant, Clara Hairie, Chloë Coustet, Andrew King, Sebastian Schoeder, Mathieu Thoury, Nicolas Trcera, Ferenc Borondics, Jean-Paul Itié

16.45 – 17.15

Présentation invité – Invited speaker :

Francesca Gabrieli, Rijksmuseum, Amsterdam, Netherlands

A multi-analytical research approach on Rembrandts' masterpiece *The Night Watch*

*Une approche de recherche multi-analytique sur le chef d'œuvre de Rembrandt, *La Ronde de Nuit*.*

17.15 – 17.30

Questions, conclusion/closing session 2

17.30 – 18.30

Poster Session

19.30 – 00.00

Soirée de gala – Evening event : Péniche en bord de Seine « Le Petit Bain »

Vendredi 30 janvier - Friday 30th of January

SESSION 3 : Diagnostic et approche prédictive en conservation

– Diagnostics and predictive approach for conservation

Présidence / Chairperson :

Thierry Zimmer, SFIIC

9.05 – 9.25

Etude des matériaux colorants utilisés dans les xylographies polychromes chinoises de lettrés à l'aide de méthodes de caractérisation non destructives.

Study of colouring materials used in chinese polychrome xylographs of letters using non-destructive characterisation methods.

Sébastien Gilot, Sandie Le Conte, Chloé Bernard, Christine Vial-Kayser

9.25 – 9.45

**Woolly mammoth remove and move:
using 3D virtual reconstruction in
advanced preservation and packing
preparation.**

*Déménagement et transport d'un
mammouth laineux : utilisation de
la reconstruction virtuelle 3D dans
l'optimisation de la conservation et
du conditionnement.*

Efstratia Verveniotou, Spyridoula Pappa,
Lauren Burleson and Tom Ranson

9.45 – 10.05

**Apports de la thermographie
infrarouge stimulée à la
conservation-restauration des
peintures sur bois : application à
l'étude de quatre panneaux peints
du XVI^e siècle.**

*Contributions of stimulated infrared
thermography to the conservation
and restoration of panel paintings:
application to four painted panels
from the 16th century.*

Nicolas Bouillon, Kamel Mouhoubi,
Jean-Luc Bodnar

10.05 – 10.25

**Approches non invasives et
innovations méthodologiques pour
la conservation de la Tapisserie de
Bayeux.**

*Non-invasive approach and
methodological innovations for
the conservation of the Bayeux
Tapestry.*

Arnaud Daret, Thalia Bouzid,
Mohamed Dallel

10.25 – 10.40

Questions

10.40 – 10.55

Pause

10.55 – 11.15

**Diagnostic et évaluation
multimodale des œuvres sculptées.**

*Diagnosis and multimodal
evaluation of sculpted artworks.*

Marie-Laure Chavazas, Colin Guensler, Jérémie Berthonneau, Cédric Payan,
Eric Debieu, Livio De Luca et Philippe Bromblet

11.15 – 11.35

**Apports des sciences du bois et
de l'ingénieur à la conservation
préventive de *La Joconde*.**

*Contribution of wood sciences
and engineering to the preventive
conservation of *Mona Lisa*.*

Joseph Gril, Gaël Godi, Lorenzo Riparbelli,
Jean-Christophe Dupré, Delphine Jullien,
Patrick Mandron, Elisabeth Ravaud, Marco Fioravanti, Luca Uzielli

11.35 – 11.55

**Usages du monitoring et de
la thermographie dans la
conservation du décor pérenne
L'Onde du Midi d'Elias Crespin au
Musée du Louvre.**

*Uses of monitoring and
thermography in the conservation
of Elias Crespin's permanent
installation *L'Onde du Midi* at the
Louvre Museum.*

Laure Vidal, Elias Crespin

11.55 – 12.10

Questions, Conclusion session 3

12.10 – 12.15

Remise des prix des meilleurs posters – Best posters awards

12.15 – 13.30

Déjeuner buffet – Buffet lunch

13.30 – 13.35

SESSION 4 : Développement instrumental – Instrumental development

Présidence / Chairperson :

Loïc Bertrand ENS Saclay - DIM PAMIR

13.35 – 14.05

Présentation invité – Invited Speaker

- Emanuela Daffra, Opificio delle Pietre Dure

14.05 – 14.25

Instrumental development for the non-invasive three-dimensional elemental analyses of painted works of art.

Développement instrumental pour les analyses élémentaires tridimensionnelles non invasives des œuvres peintes.

Thomas Calligaro, José Tapia, Antoine Trosseau, Antoine Blasiak, Laurent Pichon, Brice Moignard, Myriam Eveno and Ina Reiche

14.25 – 14.45

Analyses physico-chimiques non invasives de sculptures polychromes de la fin du Moyen

Age : de l'identification des matériaux et de leur dégradation aux traitements de conservation.
Non-invasive physicochemical analysis of polychrome sculptures from the late middle ages: from the identification of materials and their degradation to conservation treatments.

Sophie Champdavoine, Pauline Martinetto, Pierre Bordet, Frédéric Fabre, Florence Lelong, Ariane Pinto, Victor Poline

14.45 – 15.15

Questions, Conclusion / Ending session

15.15 – 17.00

Visites de différents lieux patrimoniaux – Visits of various heritage sites

Musée des Arts Décoratifs – Visite Libre
Musée des Arts Décoratifs – Self-guided tour

ou

Ateliers du Musée des Arts Décoratifs – Visite commentée
Restoration department of Musee des Arts Décoratifs – Guided tour

ou

Ateliers de reliure de la Bibliothèque Nationale de France (BnF) – Visite commentée
Restoration department (bindings) of Bibliothèque Nationale de France (BnF) – Guided tour

ou

BnF site de Richelieu – musée et salle Labrouste – Visite commentée
BnF – Richelieu –Museum and Labrouste room – Guided tour

ou

**Ateliers de restauration de peintures du
C2RMF – Visite commentée**

*Paintings restoration department of C2RMF
– Guided tour*

ou

**Bourse de Commerce –Musée – Visite
commentée**

*Bourse du Commerce –Museum – Guided
tour*

**Pendant la duree du colloque –
during the symposium :**

Des stands d'information vous seront proposés par nos soutiens financiers : le DIM-PAMIR (Domaine de recherche et d'Innovation Majeur « Patrimoines matériels – innovation, expérimentation et résilience ») et la FSP (Fondation des Sciences du Patrimoine) – *Information desks will be provided by our financial supporters: the DIM-PAMIR (Domaine de recherche et d'Innovation Majeur « Patrimoines matériels – innovation, expérimentation et résilience ») and the FSP (Foundation for cultural heritage sciences).*

Des stands de présentation et de démonstration d'instrumentation scientifique vous seront proposés par nos partenaires privés : PRO-LITE Technology, ARDOP Industrie, HIROX, KEYENCE – *Scientific instrumentation will be presented by our private sponsors: PRO-LITE Technology, ARDOP Industrie, HIROX, KEYENCE.*

Posters

Evaluation of a cleaning method for the conservation treatment of the canvas painting Vampire (E. Munch, 1893) using Hirox 3D imaging. *Evaluation d'un protocole de nettoyage pour la restauration de la peinture sur toile Vampire (E. Munch, 1893) grâce à l'imagerie 3D Hirox.*

— Beatrice G. Boracchi, [Eva Storevik Tveit](#), Terje Syversen, Inger Grimstad, Marie Catherine Mustad, Irina CA Sandu

La corrélation d'image (DIC) : un outil de suivi mécanique des toiles peintes. Usage pour le suivi des traitements de conservation-restauration et pour la caractérisation d'une œuvre. *Image correlation (DIC): a tool for mechanical monitoring of canvas paintings. Use for restoration treatments monitoring and for work of art characterization.*

— [Marie-Laure Gascon](#), Julien Colmar, Sandie Le Conte

Suivi environnemental et non destructif des matériaux du patrimoine pour prédirer l'impact du changement climatique sur leur altération. *Environmental and non-destructive monitoring of heritage materials to predict the impact of climate change on their deterioration.*

— Adèle Cormier, Fabrice Surma , Martin Labouré, Jean-Marc Vallet, Odile Guillou , Nistor Grozavu, Ann Bourgès

In situ measurement of water absorption: a toolbox for an insight in stone material. *Mesure in-situ de l'absorption d'eau : une boîte à outil pour mieux comprendre les matériaux pierre.*

— Delphine Vandevoorde

Perspectives de l'analyse spectrale dans la conservation des « néons ». *Perspectives of spectral analysis for the conservation of "neons".*

— [Benjamin Leblanc](#), Laure Vidal

Etude scientifique et diagnostic artistique de l'ensemble mural de Saint-Jean de Caselles, en Andorre. *Scientific study and artistic*

diagnosis of the mural complex of Saint-Jean de Caselles, in Andorra.

— [Lluís Segura](#), Mireia Tarrés, Mireia Vidal

Méthodes d'analyses mises en jeu pour la détection du mercure et de l'arsenic dans les collections textiles et accessoires du Palais Galliera. *Analytical methods used for detecting mercury and arsenic in the textile and accessory collections of the Palais Galliera.*

— Lisa-Charlotte Lardeau, Camille Lallemand, Michel Bouchard

Bridging photography and metal conservation: the role of science and technology in the conservation of daguerreotypes. *Relier photographie et conservation des métaux : le rôle de la science et de la technologie dans la conservation des daguerreotypes.*

— [Valentina Ljubić Tobisch](#), Dieter Ingerle, Christina Streli, Klaudia Hradil, Wolfgang Kautek

Hyperpico : une approche instrumentale et méthodologique avancée dédiée à la conservation préventive. *Hyperpico : an advanced instrumental and methodological approach dedicated to preventive conservation.*

— [Julie Fromager](#), Stéphane Serfaty, Vincent Detalle, Loïc Martinez, Danilo Forleo

Etude de cas, le palais Carnolès à Menton : les avantages de la démarche HBIM pour l'étude non invasive du patrimoine et la transmission des connaissances. *Case study, the Palais Carnolès in Menton : advantages of HBIM approach for non-invasive heritage studies and knowledge transmission.*

— [Frédérique Vouvé](#), Guillaume Quéré, Thierry Martel

L'émission acoustique pour la détection d'infestations actives – développement de la technique et cas pratiques. *Acoustic emission for the detection of active pest infestations – development of the technique and practical cases.*

— Cécile Costa

How AI is helping spectral imaging to be a better tool for art conservator. *Comment l'IA contribue à améliorer l'imagerie spectrale pour en faire un outil plus performant pour les conservateurs.*

— [Antonio Cardoso](#), Vassilis Papadakis

Restaurer pendant la création : les archives des ateliers de restauration, un outil d'analyse sous-exploité. *Restoring during creation: restoration workshops archives, an underutilised analytical tool.*

— Guillemette Caupin

Mise en place d'une base de données pour la caractérisation des dorures par laser (LIBS). *Establishment of a database for the characterization of gilding by laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS).*

— Perrine Schloegl, Stéphanie Courtier, Luc Rosenbaum, Victoria Aguilar, Martin Labouré, Carla Labouré, Fabrice Surma

Apports des méthodes non destructives dans l'étude des œuvres contemporaines, notamment dans le cadre des sciences criminalistiques en faux artistique.

Contribution of non-destructive methods to the study of contemporary artworks, particularly in the framework of forensic sciences in artistic forgery.

— Violaine De Villemereuil, Nathalie Balcar

What makes them unique? Elemental composition analysis of 18th-century Warsaw faience from the National Museum of Warsaw ceramics and glass collection using XRF spectroscopy. *Qu'est ce qui les rend uniques ? Analyse par spectroscopie MXF de la composition chimique élémentaire de faïences de Varsovie du XVIII^e siècle provenant de la collection de céramiques et de verres du Musée National de Varsovie.*

— Ewa Katarzyna Świetycka, Justyna Kwiatkowska

Le « blanc marqué » : un alien de la surface dorée, visible par fluorescence X 3D. *The « blanc marque »: an alien of the gilded surface, visible by 3d X-Ray fluorescence.*

— Stéphanie Courtier, Nathalie Pingaud, Thomas Calligaro

Recherche collaborative et formative : La nécessité du dialogue dans l'efficacité d'une stratégie analytique multimodale utilisant la microscopie, la spectroscopie et les tests microchimiques sur un unique microéchantillon. *Collaborative and educational research : the need for dialogue in the effectiveness of a multimodal analytical strategy using microscopy, spectroscopy and microchemical tests on a single microsample.*

— Elsa Perucchini, Chloe Ranchoux, Chloe Bernard

Bergl Revised: Non-Invasive art technological investigations of wall paintings in the Hofburg and Schönbrunn Palaces in Vienna.

Bergl revise : investigations techniques non-invasives sur les peintures murales des palais de La Hofburg et de Schönbrunn à Vienne.

— Andreas Schretthauser, Beate Sipek, Martin Siennicki

Radiographie d'un chef-d'œuvre de la Maison Worth : la Robe aux lys sous toutes les coutures. *X-Ray radiography of a masterpiece by Worth: the Lily dress from every angle.*

— Anastasia Ozoline, Elsa Lambert

Les constats d'état numérisés : l'utilisation d'un scanner 3D pour la surveillance des œuvres d'art. *Digitised condition reports: using a 3D scanner for works of art monitoring.*

— Jean-Marie Guinard

FTIR and SEM as complementary techniques ? Assessment of their effectiveness in studying polyester fiber degradation in Cascada, a contemporary installation. *IRTF et MEB comme techniques complémentaires ? Evaluation de leur efficacité pour l'étude de la dégradation des fibres polyesters de Cascada, une installation contemporaine.*

— Sofía Terán Martínez

Histoire du suivi et de la restauration d'un panneau de bois peint du patrimoine. *History of the monitoring and restoration of a painted wooden panel.*

— Delphine Jullien, Marina Bousvarou, Jean-Christophe Dupré, Lorenzo Riparbelli, Cécilia Gauvin, Joseph Gril



Retrouvez les résumés des posters en ligne

Find abstracts of the posters online

COMMUNICATIONS

An efficient field technique for rapid macro-3D imaging of rock surfaces for erosion measurement and colour change.

L'imagerie macro-3D rapide : une technique de terrain efficace pour la mesure de l'érosion et du changement de couleur des surfaces rocheuses.

— Andrew Thorn¹

Keywords: photogrammetry, rock, morphology

Corresponding author: andrew.thorn@artcare.cc

As part of a comprehensive scientific study of the impact of industrial emissions on rock engravings, in-situ measurement of the surface, using several techniques has been implemented over four years, to support very exacting air quality and bio-geological studies together with laboratory simulations of erosion mechanisms. The field studies include periodic measurement of 54 reference rocks of over one million engravings, spanning the last 40,000 years, and believed to be the highest concentration of such cultural markings on the planet. In-situ measurement systems include pH, elemental change, porosimetry, colorimetry and morphological change, together with broader visual change.

The photogrammetric studies commenced with a proposal to study 3 of the 54 reference sites using a 35mm DSLR camera mounted to an automated scanning frame, generating 5,500 images of a 100 x 100 mm reference square, processed

¹ ART CARE, Melbourne, Australia

through focus stacking software to provide approximately 275 images for photogrammetric processing. Focus stacking is a common macro-image processing technique where the sharpest parts of all images are combined to create one image that is in focus through the entire focal depth of the subject.

The model provides particle recognition down to 30–50 microns. This detailed technique was proposed for only three sites giving too little spatial distribution across the 1,200 km study area. It is time consuming, requiring up to three hours to complete, and difficult in the rugged terrain. To provide greater spatial distribution that embraces all the study rocks, a modified lower resolution technique has been adopted whereby images are gathered using a smartphone and processed directly without the need for focus stacking, due to the greater focal distance and focussing capabilities. The more resolved scanning frame technique relied upon a DSLR-mounted microscope objective which inherently has fixed focus with limited depth of focus, capturing a field of view 16 x12 mm. The smartphone approach can achieve an equivalent frame size but is typically set to a view of 70 x 34 mm to balance between resolution, frame registration and time efficiency.

The following steps are followed to image a surface.

1. A reference template is placed over the target surface, chosen to contain both engraved and naturally eroded areas. This template is 120 x 120 mm, made from a stiff synthetic matting that ensures it holds its shape in vertical orientations. A reference scale that includes a colour standard is attached to the upper surface of the template.
2. A purpose made monopod is attached to the imaging device to maintain constant distance. This is a sufficiently rigid plastic tube fixed to a quick release mount locking into the protective case. Constant distance is

not essential for photogrammetry, but it does provide for more reliable focus during image capture.

3. Imaging is completed with a Samsung Galaxy 24 Ultra, featuring a 200Mp sensor.

4. A location image of the template is first recorded, followed by sequential imaging of the entire template area. A 60–70% overlap is maintained between images.

5. Rather than the native camera app, a magnifier app “Magnifying Glass with Flashlight” is used to take the images. Any magnifier app will work, with the critical feature, normally absent from camera apps, is the always on flash, as the app name implies. The surface is shaded with a photographic reflector to maintain uniform colour temperature from the flash only but with some inevitable low level ambient light.

6. The first pass is in landscape mode, then repeated in portrait mode to provide approximately 70 images.

The method described here arose from of the desire to provide higher resolution 2D images rather than quick 3D models. Having said that, the advantage of the photogrammetric approach lies in down-stream processing of the model using Cloud Compare© that can best highlight morphological change. A 2D image is extracted from the Agisoft Metashape© model by increasing pixel count to 15,000 horizontal pixels and zoom factor by 500%. A 2D image is important for both registration and in-situ comparison, whereas the 3D model facilitates the morphological alterations not discernible in-field or from 2D images.

Spectral change is being measured using very accurate spectrometers; however a need has been identified to equip indigenous rangers with simpler tools to monitor change. The 3D model is one such simplified technology, requiring no more than 15 min to acquire am image set at each site. This has been significant when two of the three seasonal campaigns

have been conducted in oppressive heat. The cost-benefit assessment of spectroscopy does not favour its continued use at such regular intervals, given that it requires over an hour at each site and that seasonal and climatic variations make trends more difficult to identify.

By incorporating a standard photographic colour chart into the scene it is possible to determine reasonably reliable colour change. Given that the concern of indigenous custodians is largely that the engraved images should not become indistinct the increments for determining colour change are not so precise. Because the rock surface is illuminated with a constant LED with sunlight exclusion, the variation in perceived colour is reasonably small. The colour chart employed includes four colours and white. By correcting the white area of the chart to a constant value, for example $L^*a^*b^* = 255/100/100$, the whole image is adjusted accordingly. This can be done through image editing but better adjusted arithmetically.

By spending 15 min on site it is possible to gather a series of images that can provide a 3D model, extract it to a high resolution fully restituted 2D image and measure colour change values. Should colour change be determined through this simplified method it is proposed that a more tightly controlled spectroscopic survey be carried out that can be compared to the accumulated data from recent intensive surveys.



A 2D extract of a typical smartphone imaged 3D model. The dimensions of the rock surface are approximately 100mm x 100mm

PRESENTED BY:



Andrew THORN is a conservator working on mural paintings and stone objects with a special interest in the preservation of indigenous cultural heritage. Andrew has spent the past thirty years developing preservation systems, both passive and interventive, for the protection of rock paintings and engravings. His approach applies a combination of environmental solutions, non-contact analysis and materials development. An area of special interest is the development of simple field techniques for analysis and documentation, for which he has extensive publications and numerous contributions to several working groups, recognizing that dissemination is a vital part of the development process.

Microscopie tridimensionnelle par tomographie par cohérence optique (OCT) au service de la conservation-restauration.

Three-dimensional microscopy by optical coherence tomography (OCT) for conservation and restoration.

— Gaël LATOUR^{1,2} — Giulia GALANTE¹ — Maëlle VILBERT¹ — Laetitia DESVOIS³ — Diane LE CORRE⁴ — Lou ARCHAMBAULT¹ — Nicolas SAUMAGNE⁵ — Marie-Claire SCHANNE-KLEIN¹

Keywords: photogrammetry, rock, morphology

Corresponding author: andrew.thorn@artcare.cc

Depuis une décennie, les techniques optiques connaissent un essor sans précédent pour l'analyse et la caractérisation des objets patrimoniaux, car elles présentent l'avantage crucial d'être non invasives pour l'objet étudié. Un premier enjeu est d'accéder à une imagerie tridimensionnelle (3D) à l'échelle du micromètre. Ceci permet d'obtenir une stratigraphie virtuelle de l'objet analysé, évitant ainsi le prélèvement ou, tout au moins, permettant de multiplier les zones analysées, afin de sélectionner la zone de prélèvement la plus intéressante ou d'orienter une analyse chimique par la suite. Un second enjeu majeur pour la communauté est de disposer de systèmes qui soient transportables et qui permettent l'analyse d'objets parfois volumineux et de formes complexes. La tomographie par cohérence optique, généralement appelée par son acronyme

¹Laboratoire d'optique et biosciences (École polytechnique – Institut polytechnique de Paris, CNRS, Inserm), Palaiseau, France. /² Université Paris-Saclay, Gif-sur-Yvette, France. /³ Restauratrice en pratique libérale, doctorante au Laboratoire Héritages, CY Cergy Paris-Université, Toulouse, France. /⁴ Ancienne élève de l'Institut national du patrimoine, restauratrice en pratique libérale, Paris, France. /⁵ Luthier en pratique libérale, La-Roche-sur-Foron, France.

OCT (Optical Coherence Tomography), permet de répondre à ces deux enjeux.

L'information collectée par OCT est liée aux phénomènes de réflexion et de diffusion de la lumière dans l'objet étudié. Ce dispositif optique consiste à enregistrer les « échos » de la lumière en fonction de la profondeur en ayant recours à l'interférométrie. Il est ainsi possible de détecter les interfaces entre différents matériaux ou des particules diffusantes (pigments, charges, poussières) car le dispositif est sensible aux variations spatiales de l'indice de réfraction. L'OCT permet d'accéder à une information morphologique tridimensionnelle (3D), mais sans information sur la nature chimique des matériaux traversés ou rencontrés.

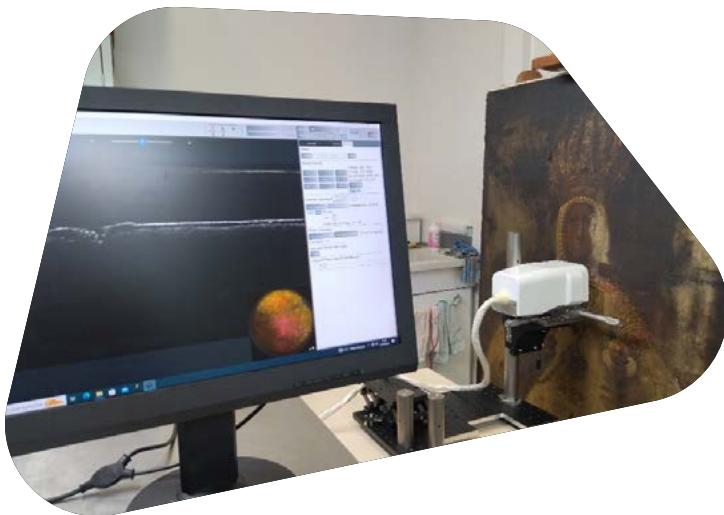
Une collaboration entre le Laboratoire d'optique et biosciences et l'entreprise DAMAE Medical a permis le développement d'un système d'imagerie OCT complémentaire de ceux déjà disponibles au sein de la communauté des sciences du patrimoine. Cette technique permet une imagerie sur un volume de l'ordre du mm³ avec une résolution spatiale isotrope dans les trois directions de l'espace de l'ordre de 1 µm. L'imagerie est possible dans l'air (distance de travail de l'ordre de quelques millimètres) ou dans l'eau pour les collections en fluides. Enfin, le système est transportable pour réaliser les analyses au plus près des collections ou sur des peintures murales.

L'apport de ce dispositif OCT dans le cadre d'une étude technique et matérielle est illustré dans le cadre du travail de restauration de la peinture *Notre-Dame del Pilar* (artiste inconnu, XVII^e siècle, musée national de la Renaissance, Écouen, France) en collaboration avec l'Institut national du patrimoine (mémoire de fin d'étude de Diane Le Corre). Une série d'analyses en différents points de l'œuvre a permis la réalisation d'une cartographie de la présence d'une ou deux couches de vernis en fonction des zones. En particulier, l'interprétation des images OCT a été facilitée par la réalisation

d'un prélèvement et le comparatif entre l'observation de la coupe stratigraphique et l'imagerie OCT.

Au-delà de l'imagerie, un programme de traitement des images donne accès automatiquement à l'épaisseur des couches de vernis. Le but est de traiter de façon automatique un volume de données afin d'accéder à une mesure de l'épaisseur du vernis sur l'ensemble du champ de vue. Cette mesure est un appui précieux dans le cadre de l'optimisation de nouveaux protocoles d'allègement de vernis en fournissant des informations quantitatives sur l'évolution des épaisseurs des couches.

Enfin, l'approche interdisciplinaire entre imagerie scientifique, développement de nouveaux protocoles de restauration et connaissance d'objets patrimoniaux est illustrée dans le cadre d'un projet de restauration d'un violon Amati du XVII^e siècle, collaboration entre un luthier, une restauratrice de peinture et un physicien.



Système d'imagerie de tomographie par cohérence optique (OCT) du Laboratoire d'Optique et Biosciences lors d'analyses dans les ateliers de restauration de l'Institut National du Patrimoine (INP). Le système d'imagerie permet ici d'analyser de réaliser une cartographie de l'épaisseur de la couche de vernis à la surface d'une peinture de chevalet.

PRÉSENTÉ PAR :



Gaël LATOUR est enseignant-chercheur à l'université Paris-Saclay et au Laboratoire d'optique et biosciences (École polytechnique). Spécialiste en microscopie optique, il développe des techniques d'imagerie 3D pour l'imagerie biomédicale. Ces techniques sont également transférables aux sciences du patrimoine du fait de leur caractère non invasif et non destructif. Au-delà du développement des techniques et de leur application potentielle, il développe une approche d'analyse des données pour accéder à une information quantitative pour le diagnostic ou le suivi de traitements en conservation-restauration, en collaboration avec des professionnels ou des chercheurs d'autres disciplines.

L'imagerie par transformation de la réflectance avec un dôme : un outil non invasif d'identification, de diagnostic et de suivi des objets patrimoniaux.

Reflectance transformation imaging (RTI) with a dome: a non-invasive tool for the identification, diagnosis and monitoring of cultural heritage objects.

— Alexandra LEFEBVRE¹ — Laura BRAMBILLA¹ —
Christian DEGRIGNY¹ — Marion DANGEON² —
Arianna PASSARETTI¹

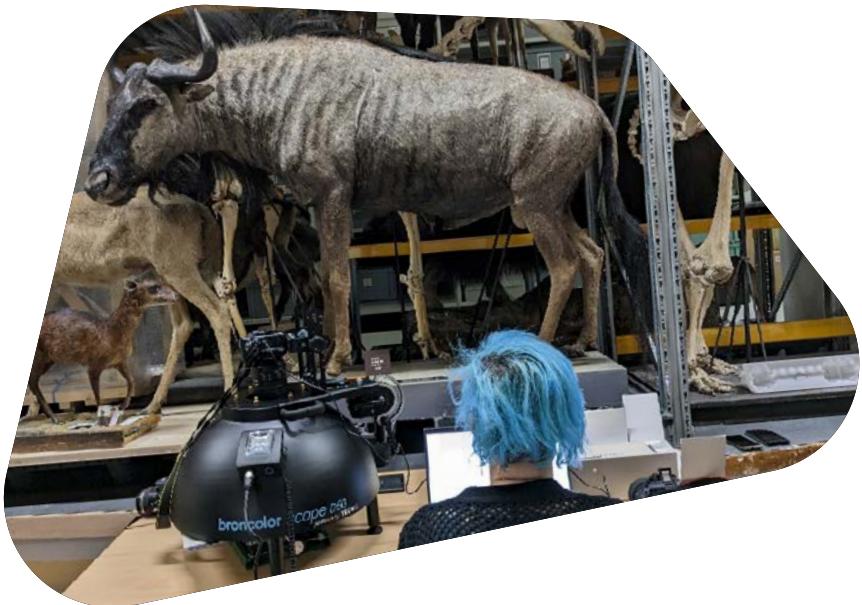
Mots-clefs : RTI, ITR, diagnostic, patrimoine

Autrice correspondante : alexandra.lefebvre@he-arc.ch

Les techniques d'imagerie sont par nature non invasives. Elles sont abondamment mises en application dans le domaine de la conservation-restauration, permettant de mener à bien l'observation préalable d'objets avant toute action possiblement invasive par analyses physico-chimiques. Les outils privilégiés sont portables, facilitant l'étude *in situ* et minimisant le mouvement des objets, mais aussi peu coûteux et de mise en œuvre aisée. La photographie dans les spectres du visible, de l'ultraviolet et de l'infrarouge est de loin la technique la plus employée.

La surface des objets plans à faible relief représente toutefois un vrai défi. La photographie en lumière rasante est

¹ Haute École Arc Conservation-restauration, Neuchâtel, Suisse / ² Muzoo, La Chaux-de-Fonds, Suisse.



Documentation de lépidochromies, une technique ancienne de transfert d'ailes de papillon sur papier, par Imagerie à Transformation de la Réflectance avec un dôme.

généralement préconisée pour observer la morphologie et les caractéristiques propres à la surface, telles que les reliefs, les creux, les altérations ou encore les traces de fabrication. Cette méthode est cependant ponctuelle et difficilement reproductible ; elle est ainsi peu adaptée à l'établissement d'un diagnostic précis, ainsi qu'au suivi de l'évolution de phénomènes d'altération de surface que peuvent être les soulèvements ou les craquelures.

Dans ce but, l'usage d'un dôme portable d'imagerie à transformation de la réflectance (ITR ou RTI en anglais) a été évalué dans le cadre du projet DoITR, mené à la Haute École Arc Conservation-restauration à Neuchâtel (Suisse). L'imagerie à transformation de la réflectance (ITR) est une technique basée sur l'acquisition d'images reposant sur le principe

de Polynomial texture mapping (PTM), inventé en 2001 aux laboratoires Hewlett Packard par Tom Malzender et Dan Gelb. La méthode a ensuite été appliquée au patrimoine par l'équipe de Cultural Heritage Imaging. Le PTM consiste en une carte composée de plusieurs photographies d'une surface ou d'un objet. Chaque cliché est pris avec le même cadrage, l'appareil photographique et l'objet étant installés dans une position fixe où l'appareil photo est parallèle au sujet. Dans un environnement dépourvu de lumière, chaque photo est prise alors que l'objet est éclairé par une source lumineuse caractérisée par un angle et une position variables.

Cette méthode documente l'information sur la réflectance d'une surface par pixel d'une image, c'est-à-dire la proportion de lumière réfléchie par la surface d'un matériau. Un logiciel ITR rassemble les informations relatives à la texture et à la réflectance de chaque image dans un seul fichier alors qu'un logiciel de visualisation ITR permet aux utilisateurs de lire et d'explorer ledit fichier à l'aide de paramètres complémentaires.

Mathématiquement, le logiciel RTI est capable de représenter l'orientation de la surface étudiée par pixel grâce à sa normale de surface. Les informations de couleur fournies par l'appareil photographique sont également implémentées par le logiciel pour rendre les caractéristiques du sujet.

Le dôme lumineux est quant à lui un dispositif creux prenant la forme d'une demi-sphère, à l'intérieur duquel sont disposées des rangées de LED fixes de lumière visible et de rayonnement UV. L'objet étudié est placé au centre du dôme, ce dernier remplaçant la torche ou le flash généralement utilisés avec la méthode manuelle H-RTI. La position fixe des sources lumineuses garantit des résultats reproductibles et permet ainsi le suivi sur le long terme de l'œuvre.

Plusieurs cas d'étude ont été documentés avec cette technique. Celle-ci a permis de caractériser des planches de lépidochromie conservées au Muzoo (La Chaux-de-Fonds, Suisse). Cette technique, pratiquée entre le XVII^e siècle et la Seconde Guerre

mondiale, consiste à déposer des écailles d'ailes de papillons sur le papier ; le corps, la membrane des ailes et les antennes du papillon sont ensuite dessinés ou peints par l'exécutant. Les écailles, l'épaisseur et les canaux des ailes, le duvet présent sur celles-ci ainsi que la présence de colle et d'éléments préparatoires ont été observés, ce qui a permis de différencier lépidochromie et planches d'impression.

La lecture de traces de fabrication, d'armoiries et de poinçons de vaisselle en alliage d'argent conservée au Musée historique Lausanne (Lausanne, Suisse), a également été approfondie par l'usage du dôme ITR. Ces témoignages, généralement peu lisibles en raison de l'usure et de la brillance des surfaces en argent, ont pu être restitués par un paramétrage adapté de l'appareil photographique et du logiciel d'ITR. Des traces de ternissement ont également pu être révélées par cette technique.

La méthode a également permis l'observation détaillée de gravures réalisées sur les éléments constitutifs d'un mécanisme horloger, ainsi que la mise en évidence de l'usure des dents de certains mécanismes, au cours du projet DRYLU (Dry lubricants for the conservation of scientific and technical heritage), mené à la Haute École Arc Conservation-restauration.

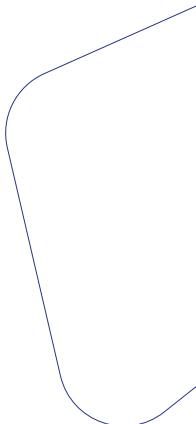
Enfin, l'outil a permis la caractérisation de surface d'un contenant en verre, contenant par le passé un spécimen en fluide, qui présentait une forme de corrosion inédite, et qui a ensuite été analysé par micro-spectroscopie infrarouge.

Les limites de la technique couplée à l'outil dôme ont également pu être déterminées dans le cadre de son utilisation. La première étant la dimension maximale de l'objet d'étude limitée à un format A4 et une épaisseur de vingt centimètres environ. L'usage d'un trépied est cependant possible afin de placer le dôme face à un cas d'étude. Aussi, la géométrie de l'œuvre a également son importance, puisque seules les surfaces planes pourront être observées de manière nette et qualitative.

PRÉSENTÉ PAR :



Alexandra LEFEBVRE est conservatrice-restauratrice spécialisée dans les patrimoines métallique et technique, avec une expertise dans la gestion des matériaux dangereux au sein des collections techniques, notamment celles liées à la cinématographie et à la photographie. En parallèle de sa pratique indépendante, elle est responsable de la conservation préventive au Photo Elysée (Musée cantonal pour la photographie, Lausanne, Suisse). Elle a rejoint en 2022 l'unité de recherche de la Haute École Arc Conservation-restauration (Neuchâtel, Suisse) en tant qu'assistante de recherche dans le cadre du projet DoITR, consacré à la documentation des objets patrimoniaux par imagerie par transformation de réflectance (RTI). Elle participe actuellement au projet DRYLU, qui explore l'utilisation de lubrifiants secs dans la conservation du patrimoine scientifique et technique.



Nouvelles imageries versatiles pour l'étude de la palette des peintres et de l'apparence visuelle des œuvres modernes.

New versatile imageries for the study of painters' palettes and the visual appearance of modern works of art.

— Mathieu THOURY¹ — Pauline HÉLOU DE LA GRANDIÈRE² —
Vincent GONZALEZ³ — Mahieu HÉBERT⁴ — Lionel SIMONOT⁵
— Chloé COUSTET¹ — Serge COHEN¹ — Maxime MEGEL¹ — Pierre
GUERIAU^{1,6} — Clara HAIRIE¹ — Loïc BERTRAND³

Mots-clefs : luminescence, œuvres modernes, technique artistique, apparence visuelle, mesures in situ

Auteur correspondant : mathieu.thoury@ipanema-remote.fr

Au cours des quinze dernières années, le développement des techniques d'imagerie spectrale, opérant dans les domaines des rayons X, de l'ultraviolet-visible et du proche infrarouge (NIR), a considérablement enrichi l'analyse des œuvres picturales. Ces avancées permettent notamment de caractériser les matériaux employés par les artistes, en particulier les pigments inorganiques, liants organiques ou anciens produits de restauration.

Dans le cadre du projet de doctorat NOIRœS (Nouveaux Outils Interdisciplinaires pour la Restauration des œuvres de Pierre Soulages), deux dispositifs d'imagerie ont été développés. Le

¹ IPANEMA, CNRS, ministère de la Culture, UVSQ, MNHN, université Paris-Saclay, France / ² Atelier de La Grandière, France / ³ Université Paris-Saclay, ENS Paris-Saclay, CNRS, PPSM, France / ⁴ Laboratoire Hubert Curien, Univ Lyon, UJM-Saint-Etienne, CNRS, Institut d'optique Graduate School, France / ⁵ Institut Pprime CNRS, France / ⁶ Institut des sciences de la terre, université de Lausanne, Suisse.

premier vise à révéler des contrastes chimiques invisibles en lumière naturelle, tandis que le second permet d'obtenir des informations quantitatives sur les propriétés de brillance et de matité des œuvres. La conception et le développement de ces instruments reposent sur un triple constat, établi grâce à une collaboration étroite avec restaurateurs et conservateurs : documenter et explorer l'état physico-chimique ainsi que l'apparence des œuvres.

En premier lieu, l'évaluation des caractéristiques visuelles d'une œuvre constitue, pour l'œil expert du restaurateur, un indicateur essentiel de son état de conservation. La comparaison des observations actuelles avec des références connues ou des analyses antérieures permet d'identifier les premiers signes de transformations physico-chimiques. Enregistrer et archiver ces observations, principalement cognitives, reste une tâche complexe. Traduire ces données en informations structurées, quantitatives et accessibles représente un enjeu majeur pour détecter et suivre les transformations subtiles au fil du temps. Les techniques d'imagerie jouent ici un rôle clé dans la documentation de l'état de conservation des œuvres et le suivi de leur évolution.

Par ailleurs, l'étude des œuvres du XX^e siècle soulève de nouveaux défis analytiques. Cette période a été marquée par des bouleversements dans le domaine de la peinture, tant par l'émergence de mouvements artistiques novateurs que par l'introduction de nouveaux matériaux et de nouvelles techniques. L'essor des pigments synthétiques, la diversification des liants, l'usage de peintures industrielles, l'emploi de supports non traditionnels et l'abandon des vernis pour jouer sur les variations de brillance ont enrichi la palette des artistes. Cette diversité matérielle nécessite le développement d'outils spécifiques, encore inexistants à ce jour, capables d'analyser ces techniques picturales et d'explorer les contrastes chimiques et visuels propres à la production artistique contemporaine.

Au-delà de la simple identification physico-chimique des matériaux, l'exploitation de nouveaux contrastes chimiques en imagerie ouvre des perspectives inédites. La capacité à obtenir des images haute définition distinguant les couleurs en fonction de leurs propriétés chimiques, notamment au sein de mélanges, permet d'étudier le geste artistique et de révéler des détails invisibles à l'œil nu, tels que la structure des coups de pinceau, la dynamique du tracé et les processus de superposition ou de mélange des couleurs. Nous présentons ici deux instruments d'imagerie permettant des mesures *in situ*, offrant une visualisation accrue de l'hétérogénéité chimique des matériaux et une quantification précise de la brillance des surfaces peintes.

Le premier système d'imagerie a été conçu pour explorer la diversité chimique des œuvres. Il repose sur des mesures de luminescence et de réflectance, basées sur l'acquisition d'images en plein champ et dotées d'une détection multispectrale couvrant une plage de 380 à 1 100 nm. La combinaison d'excitation et de détection dans les gammes UV, visible et proche infrarouge, permet d'obtenir des images haute résolution révélant la répartition spatiale des matériaux organiques et inorganiques, et améliorant ainsi la discrimination des contrastes chimiques. Les images obtenues sont ensuite traitées par des techniques de classification non supervisées, notamment un algorithme de classification hiérarchique agglomérée adapté, permettant d'identifier les différentes compositions chimiques des matériaux. Cette approche permet de distinguer et de révéler la distribution des matériaux selon leur structure moléculaire ou cristalline, tout en détectant d'éventuelles impuretés ou altérations. Ces données, complémentaires à celles obtenues via des techniques d'analyse élémentaire et de diffraction des rayons X, permettent d'affiner la compréhension du geste artistique, du mélange des pigments et des traces laissées par d'anciennes restaurations.



Images en fausses couleurs collectées par imagerie spectrale de photoluminescence et de brillance (bas à droite), obtenues sur les œuvres de Robert Delaunay, *Autoportrait, hiver 1905–1906*, huile sur toile, 54 × 46 cm, Centre Pompidou (images du haut), et de Pierre Soulages, *Peinture, 15 décembre 1959*, huile sur toile, 202 × 130 cm, Les Abattoirs – Musée-Frac Occitanie, Toulouse (images du bas).

Le second instrument a été conçu pour répondre à l'enjeu majeur de l'enregistrement de l'apparence des œuvres d'art moderne. Si la couleur est fondamentale, la brillance joue également un rôle essentiel dans l'intention artistique et la technique des peintres, à l'image de Pierre Soulages. Pourtant, cet aspect n'a pas fait l'objet d'études quantitatives approfondies dans le domaine des matériaux patrimoniaux. L'une des raisons en est que les brillancemètres commerciaux existants ne sont pas adaptés à ces analyses car ils nécessitent un contact avec la surface et ne permettent, ni une mesure point par point sur une grande étendue, ni une estimation fiable de la brillance. Le prototype développé repose sur l'acquisition d'images de réflectance obtenues à

différentes positions d'une source lumineuse ponctuelle. La caméra enregistre, pour chaque pixel, la variation de luminance réfléchie en fonction du déplacement de la source. À partir de l'évolution du signal temporel en chaque point, un score physique est déterminé, puis converti en valeur de brillance spéculaire (en gloss units, GU) grâce à un étalonnage sur un nuancier de surfaces noires de brillance connue.

Les premières applications de ces approches ont été réalisées sur un corpus de peintures de Robert Delaunay, Pierre Soulages et Georges Mathieu. Ces études, menées en complément d'autres techniques d'imagerie dans le cadre des projets NOIRœS et Nuit-NOIRœS, ont été conduites en collaboration avec le Centre Pompidou et Les Abattoirs – Musée Frac Occitanie Toulouse. Cette synergie entre innovation technologique et expertise en restauration contribue à une compréhension approfondie de la matérialité des œuvres ainsi qu'à l'optimisation des stratégies de restauration, de traitement et de conservation préventive, et ouvre à de nouvelles applications pour l'étude de collections patrimoniales culturelles et naturelles.

PRÉSENTÉ PAR :



Mathieu THOURY est physico-chimiste et ingénieur de recherche au CNRS, dirige depuis 2023 le laboratoire IPANEMA. Docteur de l'Université Paris VI, il a d'abord étudié les vernis picturaux avant de mener, à la National Gallery of Art de Washington D.C., des travaux d'imagerie spectrale fondés sur la luminescence des matériaux picturaux. Au Centre de

recherche sur la conservation des collections, il s'est consacré à l'étude de la préservation des colorants du registre fossile. À IPANEMA, il développe des techniques d'imagerie avancées pour étudier la transformation des matériaux anciens, pris dans le temps, notamment la préservation exceptionnelle des biomolécules, la corrosion des artefacts et les techniques picturales modernes.

L'imagerie comme méthode non invasive pour la conservation des peintures murales de Sainte-Croix-en-Jarez : apports et limites.

Scientific imaging as a non-invasive method for the conservation of the mural paintings of Sainte-Croix-en-Jarez : contributions and limitations.

— Claire Bigand¹ — Odile Guillon² — Jean-Marc Vallet²

Mots-clés : conservation, imagerie, Infrarouge, UV, peinture

Auteur correspondant : clairebigand@insituconservation.art

L'église de la Chartreuse de Sainte-Croix-en-Jarez abrite un ensemble de peintures murales présentant des enjeux de conservation majeurs. Ces œuvres, affectées par des altérations diverses (humidité, sels, transformations physicochimiques des pigments, interventions anciennes), nécessitent une approche rigoureuse pour leur préservation. Il est nécessaire, en premier lieu, d'acquérir des données précises sur l'œuvre et son état en utilisant des méthodes non invasives telles que l'imagerie technique.

L'essor des outils d'imagerie numérique, et en particulier de l'imagerie multi-bandes qui s'intéresse aux réponses des matériaux des œuvres dans les domaines de l'infrarouge, du visible et de l'ultraviolet, a profondément modifié les pratiques de travail des professionnels du patrimoine. Ces techniques, qui comprennent, outre les images obtenues sous ces

¹ In Situ Conservation, Novalaise, France. / ² Centre interdisciplinaire de conservation et de restauration du patrimoine (CICRP), Marseille, France

rayonnements, la création d'images composites, permettent aujourd'hui d'accéder à des informations cruciales quant à la connaissance, à la conservation et à la restauration de ce patrimoine, sans nécessiter de prélèvements. Toutefois, leur efficacité doit être évaluée avec discernement car elles présentent aussi des limites méthodologiques et interprétatives. Cette étude a été menée en collaboration entre restaurateurs, scientifiques de la conservation et photographes spécialisés, pour croiser les approches et exploiter au mieux les données recueillies.

L'ancienne église de la Chartreuse de Sainte-Croix-en-Jarez est un site patrimonial remarquable dont les peintures murales témoignent des évolutions architecturales et liturgiques du monastère au fil des siècles. Fondé à la fin du XIII^e siècle, ce lieu de culte a connu plusieurs campagnes décoratives successives, chacune reflétant un contexte artistique et spirituel particulier.

Les études stratigraphiques menées sur le site ont permis d'identifier plusieurs phases successives des décors muraux :

- Fin du XIII^e siècle : l'église était probablement recouverte d'un simple badigeon blanc.
- Premier quart du XIV^e siècle : un premier programme décoratif applique un badigeon blanc généralisé avec des motifs géométriques à l'oxyde de fer.
- Second quart du XIV^e siècle : apparition d'un faux appareil et d'un décor ornemental de motifs végétaux et géométriques.
- Milieu du XIV^e siècle : en l'honneur de Thibaud de Vassalieu, quatre scènes historiées sont ajoutées dans le chœur avec un fond en damier rouge minium et bleu azurite, utilisant une technique mixte huile-œuf.
- XV^e siècle : suppression des scènes figuratives au profit d'un badigeon blanc décoré d'une frise.
- XVII^e siècle : transformation de l'église en salle capitulaire et sacristie, effacement des décors sous plusieurs couches de badigeons blancs.

Différentes techniques d'imagerie ont été employées pour examiner ces peintures murales :

- dans le domaine du visible sous éclairage homogène en minimisant les effets de surface (« lumière directe » ou LD) ou en accentuant certains de ces effets, comme le relief (« lumière semi rasante ») ;
- sous rayonnement UV, en lumière réfléchie (UVr) ou aux fins d'observation des fluorescences émises dans le domaine du visible ;
- en privilégiant le rayonnement IR (IR) ;
- en créant une image composite à partir de l'image LD et l'image UVr, image dénommée « UV fausse couleur » ;
- en créant une image composite à partir de l'image LD et l'image IR, image dénommée « IR fausse couleur ».

L'utilisation de ces techniques a permis de déterminer la nature des pigments présents qui a été confirmée par l'analyse de prélèvements, et aussi de certains mélanges.

Plusieurs causes d'altération affectant les peintures murales de Sainte-Croix-en-Jarez ont pu être identifiées, notamment grâce à l'imagerie technique. Les dégradations sont liées à des facteurs environnementaux (humidité, sels) et aux matériaux utilisés lors des restaurations précédentes.

L'imagerie sous rayonnement UV a révélé des zones de fluorescences indiquant une accumulation de sels hygroscopiques. Ces observations ont été confirmées par des cartographies humidimétriques et des analyses sur prélèvements en sels solubles, principalement des chlorures et nitrates, concentrés dans la partie basse des murs du chœur. Ces sels, résultant de remontées capillaires et de cycles d'évaporation, provoquent des soulèvements et des pertes de matière picturale.

Un phénomène marquant est la pseudomorphose de l'azurite en malachite détectée sous imagerie IR fausse couleur.

Ce changement chimique altère la teinte bleue des fonds célestes en vert par oxydation du cuivre, comme confirmé par l'analyse d'un échantillon du tympan est.

L'imagerie technique a également permis d'évaluer les effets des restaurations du XX^e siècle. L'analyse sous UV a révélé les zones où des matériaux de restauration ayant des réponses différentes ont été appliqués en 1987. Une analyse de ces matériaux a révélé la présence de résines acryliques et de consolidants phénoliques. Ces matériaux forment une pellicule qui modifie l'apparence des peintures et limite fortement la perméabilité à l'air des peintures murales.

Ces consolidations ont ainsi entraîné :

- un effet satiné altérant la perception des couleurs ;
- l'enfermement de salissures sous le vernis ;
- des taches brunâtres persistantes dues aux résines phénoliques.

Ces observations soulignent l'importance d'analyser les interventions passées avant toute nouvelle restauration.

L'étude menée sur les peintures murales de Sainte-Croix-en-Jarez démontre l'apport fondamental des méthodes non invasives, et en particulier de l'imagerie technique, dans la connaissance des œuvres, la compréhension des phénomènes d'altération et l'évaluation des interventions passées. En complément, l'analyse de prélèvements a permis de confirmer les observations et propositions d'identification de la nature des matériaux par le biais de leur analyse matérielle.

Les apports de l'imagerie technique en matière de diagnostic et d'aide à la décision en font une méthode incontournable dans le champ de la restauration du patrimoine. Toutefois, son efficacité repose sur une approche méthodologique complexe, associant analyses non invasives et études complémentaires pour croiser les résultats et garantir une bonne compréhension de la peinture murale et de son état de conservation.



a. "Lumière du jour" directe



b. IRfc



c. UVfc

Mise en évidence de l'azurite constituant le bleu du manteau de la Vierge ; elle apparaît violette en IRC (b) et verte en UVfc (c). Scène du Couronnement de la Vierge, détail de la peinture murale de la paroi Nord-Est (côté Est).

PRÉSENTÉ PAR :



Claire BIGAND est diplômée d'un master II en conservation-restauration du patrimoine. Passionnée par l'architecture et la relation directe avec le décor peint, elle a choisi, lors de sa formation initiale, de se spécialiser dans l'étude et le traitement des peintures murales ; elle exerce dans ce domaine depuis plus de vingt-cinq ans. Elle a créé la société In Situ Conservation en 2009 et travaille en collaboration avec de nombreux restaurateurs du patrimoine, pour le patrimoine public, privé, religieux ou civil, des périodes médiévales aux époques contemporaines.

Le patrimoine architectural sous l'angle du numérique

Architectural heritage from a digital perspective

— El Mustapha Mouaddib¹

Mots-clés : modélisation 3D, documentation numérique, monuments architecturaux

Auteur correspondant : mouaddib@u-picardie.fr

Les techniques de numérisation 3D précise et dense sont devenues suffisamment fiables et accessibles pour rendre quasi-méthodiquement le recours à la numérisation de monuments pour la visite virtuelle, la médiation, la restauration, le diagnostic et l'étude.

Grace à ces outils et plus largement à l'utilisation du numérique, le programme de recherche E-Cathédrale, mis en place en 2010 pour une durée de 15 ans par le laboratoire MIS (Modélisation, Information et Systèmes) de l'université de Picardie Jules Verne, a permis la réalisation d'un corpus de modèles 3D de plusieurs monuments architecturaux majeurs : sept cathédrales, trois sculptures, deux abbayes, deux mosquées au Maroc, trois églises, un site archéologique en Tunisie et quatre autres monuments historiques.

Ce corpus exploité par des outils numériques existants ou qui ont été développés dans le cadre de E-Cathédrale a rendu possible une documentation graphique scientifique précise et la réalisation d'études comparatives significatives sur ces

¹ Laboratoire Modélisation, Information et Systèmes (MIS) de l'université de Picardie Jules Verne, Amiens, France.

monuments. Dans cette conférence, nous allons revenir sur la méthodologie employée et sur quelques résultats et exemples d'études qui montrent l'apport indéniable du numérique.



Superposition de la cathédrale d'Amiens (rouge) et de la cathédrale de Beauvais (blanc). Programme E-Cathedrale, MIS, UPJV (E. Mouaddib).

PRÉSENTÉ PAR :



El Mustapha Mouaddib est professeur de robotique et chercheur au laboratoire MIS de l'université de Picardie Jules Verne. Il mène des travaux de recherche en Perception 3D, vision par ordinateur et en robotique mobile. Depuis 2010, il travaille sur l'application du numérique au patrimoine architectural et

dirige le programme E-Cathédrale (<https://home.mis.u-picardie.fr/~ecathedrale>). Il a été directeur et co-directeur de plusieurs unités de recherche et il est actuellement directeur de la Structure Fédérative de Recherche en Numérique et Patrimoine (<https://home.mis.u-picardie.fr/~sfr-np/>).

Évaluation quantitative non invasive de la dégradation des parchemins par microscopie multiphoton.

Non-invasive quantitative evaluation of parchment degradation using multiphoton microscopy.

— Laurianne ROBINET¹ — Giulia GALANTE^{1,2} —
Margaux SCHMELTZ² — Sylvie HEU-THAO¹ —
Marie-Claire SCHANNE-KLEIN² — Elodie LEVEQUE³ —
Gaël LATOUR^{2,4}

Mots-clefs : parchemin, dégradation, imagerie optique non invasive, conservation

Auteur correspondant : laurianne.robinet@mnhn.fr

La microscopie multiphoton, également appelée microscopie optique non linéaire (NLO), est une technique d'imagerie optique largement développée dans le domaine biomédical mais relativement nouvelle pour l'analyse non invasive des matériaux du patrimoine. Un microscope multiphoton optimisé et dédié à la communauté du patrimoine a récemment été installé au sein du Centre de recherche sur la conservation, sur le site du Muséum national d'Histoire naturelle de Paris. Cette technique est particulièrement intéressante pour étudier à l'échelle microscopique les matériaux à base de peau, notamment les parchemins, car elle permet de visualiser l'organisation des fibres de collagène, principal constituant de ce matériau, à partir de la collecte du signal de génération de seconde harmonique (SHG).

¹Centre de recherche sur la conservation (CRC), Muséum national d'Histoire naturelle, ministère de la Culture, CNRS, Paris, France / ²Laboratoire d'optique et biosciences, CNRS, Inserm, École polytechnique, Institut polytechnique de Paris, Palaiseau, France / ³HiCSA – université Paris I Panthéon-Sorbonne, Paris, France / ⁴Université Paris-Saclay, Gif-sur-Yvette, France

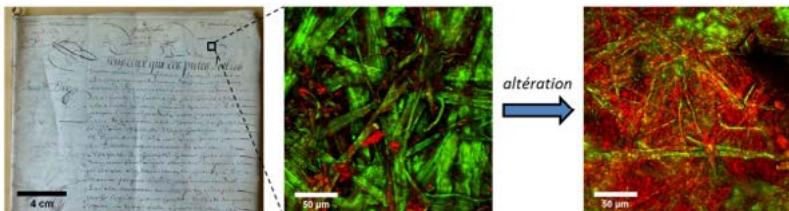
L'enregistrement simultané de signaux de fluorescence par microscopie multiphoton peut également révéler la présence de matériaux fluorescents en interaction, tels que la graisse, l'élastine et la kératine, provenant de la préparation de la peau, ou la gélatine résultant de la dégradation du collagène.

Ainsi, lors de la transformation de la peau en parchemin, la microscopie multiphoton met facilement en évidence le réarrangement des fibres de collagène dans le plan et parallèlement à la surface de la peau. Appliquée aux parchemins et manuscrits historiques, la technique révèle parfois une morphologie très différente des fibres de collagène et des signaux recueillis, probablement associés à divers facteurs au cours de la vie de l'objet. L'impact de la fabrication sur l'organisation des fibres de collagène sera discuté sur des parchemins préparés avec différentes finitions et reliés aux observations faites par microscopie multiphoton sur des manuscrits anciens.

Au cours de la dégradation du parchemin, l'endommagement de la structure du collagène est mis en évidence par la perte du signal SHG et l'apparition d'un signal 2PEF. Le rapport entre la fluorescence excitée à deux photons et les signaux de génération de seconde harmonique peut alors être utilisé pour quantifier l'état de dégradation du collagène. Un second paramètre a été proposé pour évaluer le désordre à l'échelle submicrométrique, soit à l'échelle des fibrilles de collagène, appelé paramètre d'anisotropie ; ce dernier sonde une échelle complémentaire de l'imagerie et présente une sensibilité aux premiers stades de la dégradation.

Ces approches quantitatives ont été appliquées à l'étude de la dégradation du collagène dans différents parchemins historiques, y compris des manuscrits médiévaux de la bibliothèque de Chartres exposés au feu et à l'eau à la suite du bombardement de la bibliothèque à la fin de la Seconde Guerre mondiale. Cette étude sera aussi l'occasion de démontrer, grâce à la microscopie multiphoton, que la transparence

n'est pas toujours associée à la gélatinisation, la dégradation extrême du collagène. Parallèlement, la technique et cette approche quantitative peuvent s'avérer très utiles pour tester l'impact de traitements de restauration classiques ou innovants. Cette question sera illustrée au travers d'expériences portant sur la comparaison de deux approches d'humidification sur des parchemins avec différents états de dégradation. La microscopie multiphoton apparaît ainsi comme un outil très pertinent pour mener des approches non invasives d'étude et de recherche pour la conservation du patrimoine. L'accès aujourd'hui facilité de la communauté à cet instrument favorisera son développement sur d'autres matériaux à base de collagène dans les collections, tels que l'os ou le cuir, ainsi qu'à des matériaux à base de cellulose (papier, textile, bois).



Cartographie d'un parchemin du XVII^e siècle : images en fausses couleurs. Le collagène intact émet de forts signaux spécifiques dits de génération seconde harmonique (en vert) qui permettent de visualiser sa structure fibrillaire caractéristique. Quelques résidus épars (graisses, élastine...) émettent des signaux de fluorescence (en rouge). Une autre zone du même parchemin, après altération, émet des signaux de fluorescence (en rouge) non structurés, caractéristiques de la dégradation du collagène.

PRÉSENTÉ PAR :



Laurianne ROBINET est physico-chimiste, ingénierie de recherche du ministère de la Culture, au sein du Centre de recherche sur la conservation (CRC) situé sur le site du Muséum national d'Histoire naturelle à Paris. Dans ce laboratoire, elle est responsable du pôle cuir et parchemin où elle développe des recherches en lien avec la caractérisation et la conservation des cuirs, parchemins et manuscrits des collections patrimoniales. Elle s'intéresse en particulier au développement de nouvelles techniques non invasives pour caractériser la nature et l'état de dégradation de ces matériaux, notamment la microscopie multiphoton.

Développement d'une méthodologie d'identification de gemmes sur les reliures d'orfèvrerie des collections de la BnF par spectroscopies XRF, réflectance et fluorescence à fibre optique et Raman.

Development of a methodology for identifying gems on goldsmith bindings in the BNF collections using XRF, reflectance and fiber-optic fluorescence and Raman spectroscopy.

— Barbara MARJANOVIC¹ — Eleonora PELLIZZI¹ — Lucy COOPER¹
— Maxence HERMANT¹ — François FARGES² — Anne MICHELIN³

Mots-clés : spectroscopie FORS, spectroscopie XRF, gemmes, pierres précieuses

Auteur correspondant : eleonora.pellizzi@bnf.fr

Parmi les collections de la BnF, on retrouve de nombreux objets ornés de pierres précieuses utilisées pour enrichir et décorer les ouvrages. L'identification des minéraux constitutifs de ces pierres permettrait de réaliser des études approfondies sur la matérialité de ces collections.

Cependant, le laboratoire de la BnF ne possédait pas un protocole d'identification pour les pierres précieuses présentes dans

¹ Bibliothèque nationale de France, France / ² Institut de minéralogie, physique des matériaux et cosmochimie, Muséum national d'Histoire naturelle, France / ³ Centre de recherche sur la conservation (CRC), Muséum national d'Histoire naturelle, CNRS, ministère de la Culture, Paris, France

les collections, l'institution s'appuyant jusqu'à maintenant sur des analyses réalisées par des experts de laboratoires extérieurs.

Ce projet a été donc initié pour évaluer les capacités analytiques des équipements accessibles à la BnF pour la caractérisation de ce type de collections. Une collaboration a été montée entre le laboratoire scientifique et le département des Manuscrits de la BnF, l'Institut de minéralogie, physique des matériaux et cosmo-chimie (IMPMC) du Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN) et le Centre de recherche sur la conservation (CRC).

La spectroscopie Raman, couplée à la spectroscopie XRF et à la fluorescence UV, est actuellement la méthode la plus couramment utilisée pour l'identification des minéraux. Néanmoins, le potentiel de la spectroscopie FORS est de plus en plus exploré. Cette présentation propose de détailler le développement d'une méthodologie analytique pour la caractérisation des pierres précieuses principalement basée sur l'utilisation des deux équipements disponibles au laboratoires de la BnF : la spectroscopie FORS (200-2 500 nm), en mode réflectance et fluorescence, et la spectroscopie XRF.

La phase initiale de ce projet a consisté à créer une base de données sur des pierres dures de référence appartenant à la collection nationale française de gemmes du département de minéralogie du MNHN. Une sélection pertinente de pierres non montées a été réalisée en fonction des gemmes que l'on peut retrouver habituellement pour la décoration des collections patrimoniales. Les références ont été analysées sur place au département de minéralogie du MNHN avec les appareils portables FORS et XRF de la BnF et un Raman portable appartenant au CRC.

Les résultats obtenus par FORS et par XRF ont été comparés aux spectres Raman afin d'établir les apports et complémentarités des trois appareils utilisés pour cette étude d'identification de différentes typologies de gemmes.

Les équipements portables XRF et FORS utilisés lors de la première phase ont été ensuite utilisés *in situ* sur le site Richelieu

de la BnF pour analyser les gemmes présentes sur une sélection de reliures d'orfèvrerie conservées au département des Manuscrits. L'analyse de cette collection de documents, ayant également été effectuée par les experts de l'équipe Soprano (Spectroscopies OPTiques des matériaux veRres Amorphes et à NanOparticules) de l'institut Lumière Matière (iLM) de Lyon, a permis de vérifier l'efficacité de la méthodologie analytique développée. Il est actuellement envisagé que cette méthodologie, se basant uniquement sur l'utilisation de la spectroscopie FORS et XRF, puisse être utilisée pour faciliter l'identification d'autres gemmes au sein des collections de la BnF.

La présentation de ce travail mettra l'accent sur la comparaison entre les apports des différentes techniques, en exposant le plus clairement possible quels sont les avantages et les limites de la spectroscopie FORS utilisée en fluorescence et réflectance, de la spectroscopie XRF et de la spectroscopie Raman pour l'identification des pierres précieuses sur les objets des collections patrimoniales.

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'État gérée par l'Agence nationale de la recherche (ANR) au titre du programme d'investissements d'avenir intégré à France 2030, portant la référence ANR-17-EURE-0021- l'École universitaire de recherche Paris Seine Humanités, Création, Patrimoine – Fondation des sciences du patrimoine.



Détail de *Evangelia quattuor* [Évangiles dits de Drogon]. Bibliothèque nationale de France. Département des Manuscrits. Latin 9388

PRÉSENTÉ PAR :



Barbara MARJANOVIC est diplômée d'une école d'ingénieur en science des matériaux (Ensiacet, Toulouse) et du master d'archéométrie de l'université Bordeaux Montaigne en 2025. Elle a réalisé son stage de fin d'études au sein du laboratoire scientifique de la BnF pour développer une méthodologie d'identification non invasive de gemmes, grâce à des méthodes spectroscopiques. Depuis octobre 2025, elle prépare une thèse à l'IRCP et au C2RMF sur l'effet des éléments de transition sur la durabilité des verres silicatés sodocalciques, en lien avec l'altération et la couleur des glaçures bleues perses et mésopotamiennes.



Lucy COOPER est chargée d'études et de recherches en physique chimie, au laboratoire de la BnF depuis 2020. Après l'obtention d'un doctorat en chimie des matériaux à l'université de Versailles Saint-Quentin (fin 2014), elle a suivi une formation postdoctorale de trois ans en sciences du patrimoine au Straus Center for Conservation and Technical Studies, Harvard Art Museums de l'université Harvard. Elle a été post-doctorante sur le projet VIP-1 de la Fondation des sciences du patrimoine (2019-2020), qui concernait l'influence de l'addition de verre broyé sur les propriétés physico-chimiques des couleurs employées en peinture à l'huile. Elle est spécialisée dans l'analyse et la caractérisation des matériaux inorganiques dans les objets du patrimoine.

Complementary investigation of pop art paintings by Jan Dobkowski (b.1942) using non-invasive methods and sampling.

Complémentarité des techniques d'investigation scientifique non destructives et micro-destructives sur les peintures pop art de Jan Dobrowski (né en 1942).

— Miroslaw WACHOWIAK¹ — Kinga KLEMIŃSKA²

Keywords: non-invasive analysis, XRF, Raman spectroscopy, Jan Dobkowski, pigment identification

Corresponding author: miroszwach@umk.pl

Five works from the 1970s by one of the most famous Polish pop artists, Jan Dobkowski (b. 1942 in Łomża, Poland), were investigated using non-invasive methods and sampling. Like Wojciech Fangor, he is a Polish painter who has gained recognition in the USA and presents a specific variety of pop art inspired to some degree by optical art solutions, i.e., the vibration of strongly juxtaposed colours using simultaneous contrast. Also inherent in Dobkowski's work is a unique lineage of organic forms merging in an erotic dance. The presentation explores the possibilities and limitations of non-invasive investigation preceding sampling and complementarities of result gained by destructive research.

¹ Department of Conservation-Restoration of Modern and Contemporary Art, NCU Torun, Pologne. / ² Department of Conservation and Restoration of Art from Nicolaus Copernicus University in Toruń, Pologne

In 1968, together with Jerzy Zieliński, he founded the Neo-Neo-Neo group. The same year, he participated in a successful exhibition in Warsaw ('Secession-Secession?') and then in Paris. Soon, the Guggenheim Museum in New York purchased *The Double Girl* (1968), a work that opened a series of Dobkowski's red-green paintings, operating with flat planes of colour, with organic erotic forms of figures set against a contrasting background.

Three of the works examined belong to a series painted in the same size, 150 x 200 cm, only in green and red (*Ku sobie/Towards each other*, 1970 *Synergia/Synergy* 1970, *Przyciągająca siła/The attracting force*, 1971), while two others are more colour-differentiated continuations of themes begun in 1968: *Brama miłości/Gate of love*, 1971 and *Ułan polowy/Field lancer*, 1975. *Gate of Love* operates with white, pink, and violet. Field Lancer is a variation on greens and pinks strongly related to the series started by *The Double Girl*, yet varying the hues and building a more subtle interplay of colours. They were all made on cotton canvas without sizing and with a thin layer of the author's priming.

It was decided to take samples only from existing paint layer loss areas, which was possible for four paintings. The exception was the *Gate of Love*, which was subjected to non-invasive examination only.

The first part of the research involved photography under ultraviolet and infrared lights, which allowed an initial recognition of the original and retouched parts and gave a basic understanding of the nature of the colours used. It revealed a general shift in the use of white; zinc white present in the red-green series was replaced by titanium white in later works. Also, reds were differentiated – first darkening ones subsequently with strong yellow fluorescence in UV on *Gate of Love* and *Horse rider*.

The different behaviour in UV and IR suggested slight changes in how green was used in the *Field Lancer*, where the

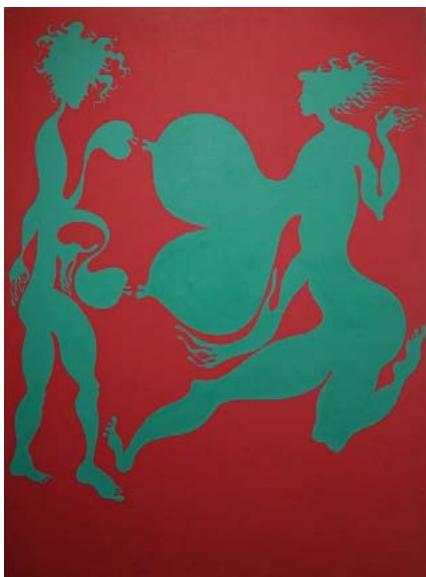
lightest green was the darkest in IR. The infrared photograph also showed the way the paint was applied, revealing the outline of the forms and brushstrokes, invisible in the VIS, indicating the use of a paintbrush and not a roller, which was already quite common in this period for this type of work. The next step was portable XRF spectrometry, which enabled examination of the elemental composition of the paint layers, indicating the use of, among other things, cadmium reds and greens containing some copper in the case of the three red-green paintings, as well as organic reds and cobalt pigments in *Gates of Love* and *Field Lancer*. This has already highlighted some technological changes in this visually homogeneous series.

The apparent use of organic dyes necessitated other techniques. In the first step, portable Raman spectrometry was involved. It allowed the identification of phthalocyanine greens in four paintings. However, in the *Field Lancer*, complementary XRF data revealed the greens' differentiation by adding cobalt. Unfortunately, organic red with strong fluorescence was not identifiable by non-invasive portable Raman spectrometry.

The following step was microscopic analysis of the paint samples. Observation in UV light revealed the different nature of seemingly similar reds and greens and the presence of fluorescent pigments in *Field Lancer*. High magnifications under a digital microscope provided information on the pigment mixtures used, such as yellows and blacks in the case of greens, and magenta and orange in the case of pink. Finally, ATR-FTIR spectroscopy was used, which, among other things, revealed the use of the acrylic medium and confirmed some of the conclusions drawn from non-invasive studies.

The research brought new information about the technique of one of Poland's most recognisable artists, revealing more complex technical solutions than simple planes of intense flat colour would suggest, as well as the continuous evolution

of material choices made in search of the best final aesthetic result. It also confirmed the significant potential for non-invasive identification of inorganic pigments using portable XRF, especially when combined with UV fluorescence. Raman spectrometry provided further information on phthalocyanine greens but did not reveal the nature of the organic red. Although invasive research is still necessary to fully recognise the creative process of even seemingly simple works of art, the rapidly developing range of non-invasive techniques is an invaluable source of information when interpreting the sample analysis results. The presentation will discuss in more detail the findings obtained by each method and their limitations, emphasising their complementarity.



Synergy, 1970, Jan Dobkowski

PRESENTED BY:



Miroslaw WACHOWIAK is associate professor at the Department of Conservation - Restoration of Modern and Contemporary Art, NCU Torun and cooperates with the Centre of Contemporary Art in Torun. His main interests are modern and contemporary painting art materials and techniques and their conservation. He established chronology of pigments apparition on the artists palettes in Poland, enabling dating and authentication of works in the 19th and 20th century. He is coauthor of *Issues of Conservation and Restoration of Modern and Contemporary Art* and author of *Intervention of conservator into the works of the living artists Ethical and conservation issues* (in Polish).

Étude des matériaux du patrimoine culturel et naturel au synchrotron SOLEIL.

Study of cultural and natural heritage materials at soleil synchrotron.

- Solenn REGUER¹ — Laurent TRANCHANT¹ — Clara HAIRIE²
 - Sebastian SCHOEDER¹ — Frederic JAMME¹ — Andrew KING¹
 - Chloé COUSTET² — Mathieu THOURY² — Nicolas TRCERA¹ — Ferenc BORONDICS¹ — Jean-Paul ITIÉ¹.
-

Mots-clefs : synchrotron, imagerie, non destructif, non invasif

Autrice correspondante :

solenn.reguer@synchrotron-soleil.fr

Très grande infrastructure de recherche ouverte à toutes les communautés scientifiques, mais aussi lieu d'accueil et de partage de la culture scientifique, le synchrotron SOLEIL est un laboratoire de recherche pluridisciplinaire. La présentation proposée se concentrera sur les études de matériaux du patrimoine menées au synchrotron SOLEIL, où une section scientifique dédiée, nommée *Cultural and Natural Heritage*, promeut les activités de recherche dans ce domaine.

Au vu de la complexité des matériaux culturels et naturels du patrimoine, appréhender leurs hétérogénéités morphologiques, chimiques et structurelles nécessite d'optimiser les techniques analytiques et les dispositifs expérimentaux. Dans ce sens, une palette de possibilités permet au synchrotron SOLEIL de développer et d'exploiter une large gamme d'approches multimodales et multi-échelles (en combinant les installations expérimentales appelées lignes de lumière). Chaque ligne de lumière de SOLEIL est spécialisée dans un domaine de longueurs

¹Synchrotron SOLEIL, Saint-Aubin France / 2 IPANEMA UAR 3461, université Paris-Saclay, CNRS, ministère de la culture, UVSQ, MNHN, 91192 Saint-Aubin, France

d'ondes (des infra-rouges aux rayons X durs en passant par l'ultra-violet et le visible) et/ou dans une ou plusieurs techniques analytiques de pointe. Les mesures vont du ponctuel à l'imagerie en deux ou trois dimensions. L'objectif sera de présenter les techniques analytiques et lignes de lumière de SOLEIL les plus pertinentes pour le domaine ciblé de la conservation et de les illustrer par des sujets de recherche, ainsi que par des développements instrumentaux qui offrent de belles opportunités d'analyses non destructives voir non invasives. Leurs apports, limites et complémentarités vis-à-vis des techniques de laboratoire seront explicités.

Dans la compréhension des processus d'altération et le développement de stratégies de conservation, plusieurs équipes de recherche ont déjà utilisé les lignes de lumière de SOLEIL. La plupart des études se basent sur de petits prélèvements d'échantillons d'œuvres ou objets. Ainsi l'analyse de micro-prélèvements a permis de déterminer les processus de dégradation de certains pigments comme le smalt, le blanc de zinc ou le verdigris de vitraux ou encore de comprendre la matérialité de ses pratiques picturales. Des échantillons de plus grande taille (centimétriques) ont permis d'étudier la décoloration des peintures murales de la basilique Saint François d'Assise ou de mettre en évidence l'origine mécanique et non chimique de craquelures observées dans une peinture à l'huile à l'huile d'Albert Kühler. Par ailleurs des développements de cellules chimiques ou électrochimiques ont permis de suivre l'évolution des couches de corrosion lors de traitements de stabilisation d'objets archéologiques en fer. Il peut être aussi très avantageux de combiner l'utilisation de plusieurs lignes de lumière pour approfondir la connaissance ou la compréhension des phénomènes d'altération d'un matériau comme cela a été réalisé pour la formation de patine sur des grès du château de Lunéville. Cette complémentarité a également permis d'explorer l'implication des pratiques artistiques, des choix de matériaux et de leur manufacture dans le développement d'altérations singulières de certaines

peintures modernes à l'huile du milieu du XX^e siècle, notamment au travers de l'étude de cas de Pierre Soulages.

Cependant, les contraintes liées aux objets du patrimoine naturel et culturel – à savoir la difficulté de réalisation de prélèvements, la nécessité de minimiser ces derniers ainsi que le souci de leur représentativité – impliquent de prendre en compte les géométries de ces objets anciens et précieux dans les développements analytiques afin de réaliser les analyses directement sur objet, sans prélèvement. Plusieurs études récentes ont mis en évidence les possibilités offertes au synchrotron SOLEIL de travailler dans ce sens. Ainsi, des traces métalliques ont été mises en évidence sur des traces d'usure d'outils lithiques des métallurgistes de l'âge du Cuivre et de l'âge du Bronze. L'examen d'armures médiévales a fait l'objet de développements spécifiques pour déterminer leurs procédés d'élaboration : des mesures de diffraction des rayons X, directement sur les pièces d'armures, fournissent des informations cruciales sur les techniques de fabrication grâce au lien entre le traitement thermique, la microstructure et la structure cristalline. Des tablettes cunéiformes en argile provenant de Mésopotamie inférieure, altérées par des sels recouvrant une partie des inscriptions, ont pu être déchiffrées grâce à des cartographies de spectroscopie de fluorescence X. Les produits de dégradation de fossiles calcaires microscopiques issus des collections du Muséum national d'Histoire naturelle ont également pu être étudiés sans avoir à retirer les spécimens fragilisés de leur montage historique. Enfin, la micro-tomographie par rayons X, dont le contraste de phase dû au faisceau partiellement cohérent augmente la sensibilité de la technique au synchrotron, a permis de lire un texte gravé dans un talisman métallique sans le dérouler et donc sans l'altérer physiquement.

L'ensemble de ces études, et bien d'autres non citées ici, montrent l'importance du développement de l'instrumentation scientifique et la nécessaire collaboration avec les

professionnels de la conservation-restauration, mais aussi la nécessité de mise en place de modalités d'accès spécifiques à une grande infrastructure pour des œuvres et objets de collections muséales ou archéologiques afin d'en faciliter l'accessibilité. Cette présentation propose de discuter de ces modalités mais également des futurs apports scientifiques et techniques de SOLEIL pour la communauté des acteurs du patrimoine, dans le cadre de sa progression constante.



Vue du Synchrotron SOLEIL et photographies, prises lors de mesures sur des objets patrimoniaux, des stations expérimentales des lignes LUCIA (Capobianco et al. J. Archeol Sci. Rep. 2021) DiffAbs (Bérard E. et al. The European Physical Journal Plus, 2023) et PUMA (Gianoncelli A. Appl. Sci. 2021).

PRÉSENTÉ PAR :



Solenn REGUER est chercheuse physico-chimiste, scientifique de la ligne LUCIA au synchrotron Soleil. Elle a une activité de recherche centrée sur l'analyse physico-chimique des matériaux anciens, tels les matériaux archéologiques, géologiques, culturels ou artistiques. Elle s'intéresse au diagnostic d'altération des objets du patrimoine et au développement de stratégies pour leur conservation.

Depuis 2008, Solenn Réguer est Scientifique de Ligne au Synchrotron SOLEIL. Elle participe aux développements instrumentaux optimisés dans le domaine des rayons X, et assure l'accueil d'équipes de recherche liées aux matériaux anciens du patrimoine, de l'environnement et des applications médicales. Ces activités nécessitent le développement de méthodologies analytiques innovantes, combinant la caractérisation multi-échelles à l'aide de techniques complémentaires.

Présentation Invité – Invited speaker

A multi-analytical research approach on Rembrandts' masterpiece *The Night Watch*

Une approche de recherche multi-analytique sur le chef-d'œuvre de Rembrandt *La Ronde de nuit*

— Francesca Gabrieli¹ — Operation Night Watch team¹

Mots-clés : conservation research project, multianalytical approach, Rembrandt

Autrice correspondante :

f.gabrieli@rijksmuseum.nl

The *Night Watch* (1642) is Rembrandt's largest painting (3.78 × 4.53 m) and one of his most famous works. Commissioned for the arquebusiers' guild hall in Amsterdam, it depicts a seventeenth-century civic militia charged with maintaining public order, led by Captain Frans Banninck Cocq. What makes the painting unique is that it is the only known militia portrait that portrays the group in action.

Over the centuries, *The Night Watch* has undergone numerous conservation treatments, including wax–resin relining, varnish regeneration, and repeated removal and reapplication of varnish. Prior to 1975, the date of the most recent and best-documented conservation treatment, the painting had already been treated approximately 25 times. These interventions have significantly affected the surface of the painting. In addition, *The Night Watch* has suffered several acts of vandalism: it was

¹ Conservation & Science, Rijksmuseum, PO BOX 74888, 1070, DN, Amsterdam, The Netherlands

attacked with a knife in 1911 and again in 1975, and in 1991 it was sprayed with acid. As a result of this complex history (marked by repeated treatments, localized damage from attacks, and natural degradation processes leading to crusts, hazes, and paint abrasion) combined with Rembrandt's complex paint mixtures, gaining a detailed understanding of the artist's painting process has remained challenging.

In July 2019, the Rijksmuseum started a large conservation research project, *Operation Night Watch*, in order to study Rembrandt's masterpiece in detail. The aims are to (i) characterize the materials used by Rembrandt and their distribution over the painting, (ii) document the condition of the painting by identifying ongoing degradation processes, with the goal of understanding their origin and preventing a future recurring, (iii) develop a science-based, well-founded conservation treatment plan. Given the large dimensions of *The Night Watch* and the importance of the painting to the visitors of the Rijksmuseum, a glass chamber that allows visitors to see the painting while the research is ongoing was built in the Gallery of Honor of the Rijksmuseum. *Operation Night Watch* involves a team of conservators, scientists, photographers, curators and engineers and is divided into two different phases. In the first phase, conservation and scientific investigations are being performed whose results will help to define a second phase, in which the conservation treatment of the painting, decided according to the scientific results and actual needs of the painting, will occur. The multi-disciplinary team work alongside each other on the acquisition and interpretation of the research data.

State-of-the-art techniques were used, ranging from digital imaging and scientific and technical research to computer science and artificial intelligence. The non-invasive macroscale imaging technologies that have been employed include macro X-ray fluorescence (MAXRF), macro X-ray powder diffraction (MAXRPD), reflectance imaging spectroscopy

(RIS, in the visible and short wavelength IR), optical coherence tomography (OCT), high resolution photography and 3D scanning. The combined approach was essential to gain insight into the complex (art)historical and material information to answer the (technical) art history, conservation, and scientific questions. Parallel to this, microscale imaging analyses were carried out on embedded and loose microsamples making use of light microscopy, imaging-ATR-FTIR, scanning electron microscopy combined with X-ray elemental analyses, micro-Raman and synchrotron-based X-ray fluorescence and diffraction techniques in 2D and 3D mode.

In the lecture, attendees will receive the latest insights into Rembrandt's painting technique, learn about the condition of the painting, and explore the implications for the upcoming conservation treatment.



The Night Watch, Rembrandt, (1642)

Glass house for *Operation Night Watch* (2019)

Visible image / As-Ka / RIS-VNIR composite

PRESENTED BY:



Francesca Gabrieli is a research scientist at the Conservation and Science department of the Rijksmuseum. She graduated with a BA in Chemistry, MA in Physical Chemistry and a PhD in Chemical Science Applied to Cultural Heritage (2015) from the University of Perugia and CNR-ISTM. In 2016–2019 she did a PostDoc at the National Gallery of Art in Washington DC, where she learnt and developed reflectance imaging techniques applied to the study of many art objects. Gabrieli has been working as a scientific researcher at the Rijksmuseum since 2019 and is responsible for the Reflectance Imaging Spectroscopy (RIS) technique at the Rijksmuseum and for Operation Night Watch.

Étude des matériaux colorants utilisés dans les xylographies polychromes chinoises de lettrés à l'aide de méthodes de caractérisation non destructives : étapes préliminaires et premiers résultats.

Study of colouring materials used in chinese polychrome xylographs of letters using non-destructive characterisation methods.

— Sébastien GILOT¹ — Christine VIAL-KAYSER² —
Sandie LE CONTE³ — Chloé BERNARD³

Mots-clefs : Chine, xylographie, couleurs, caractérisation.

Autrice correspondante : sebgil@wanadoo.fr

Le but de notre étude est d'abord de créer des connaissances matérielles sur les objets peu étudiés par les sciences de la conservation que sont les estampes chinoises polychromes tirées à partir de matrices de bois, puis d'évaluer les méthodes de caractérisation des matériaux colorants disponibles pour le restaurateur et facilement utilisables sur site.

La première difficulté rencontrée consiste à sélectionner les matériaux sources témoins. La tradition chinoise n'a pas compilé les techniques et matériaux de la production d'images

¹Héritages UMR 9022, université CY Cergy Paris–Université / ²Héritages UMR 9022, université CY Cergy Paris–Université / ³Institut national du patrimoine, Paris



Illustration de la section des *fleurs d'encre* du *Manuel de peinture de l'atelier des dix bambous* formée à partir de cinq éditions de l'ouvrage conservées à la bibliothèque nationale de France»

imprimées. Nos seules sources anciennes sont les traités de peinture ainsi que les traités modernes de la xylographie japonaises. Elles sont complétées par une revue bibliographique des études matérielles réalisées sur des peintures, des xylographies et des textiles chinois et japonais.

Afin de travailler sur un corpus cohérent, nous avons choisi, dans un premier temps, de restreindre notre étude aux estampes de lettrés et particulièrement aux livres illustrés (essentiellement les manuels de peinture de l'atelier des dix bambous et de l'atelier du jardin du grain de moutarde) et aux estampes de vœux dites de « Kaempfer », conservées à la Bibliothèque nationale de France. Cet axe d'étude nous permet de relier nos résultats potentiels aux directives théoriques d'usage des couleurs dans les manuels de peinture, et

de disposer de plusieurs éditions réparties sur les périodes Ming (1368–1644) et Qing (1644–1911).

Pratiquement, le faible nombre de recettes de préparation des couleurs de l'estampe chinoise nous impose de tester plusieurs méthodes. Les paramètres à faire varier sont la méthode d'extraction, lorsqu'elle n'a pas été fixée dans les traités de peinture, le possible laquage des colorants organiques, la nature du liant et l'encollage du papier d'impression. Ces contraintes nous obligent également à réduire notre étude aux matières colorantes rouges.

La confection d'échantillons témoins a pour but de quantifier l'impact de la préparation sur les attributs de l'apparence tels que des variations dans l'espace CIELab, des modifications de l'état de surface ou encore la luminescence sous éclairage UV et IR, mais aussi sur la profondeur de pénétration dans le papier. Elle doit permettre un ajustement progressif avec les observations réalisées sur objets.

Les résultats sont confirmés par des techniques de caractérisation, malheureusement bien souvent inaccessibles au restaurateur, telles que la XRF et l'imagerie multispectrale.

PRÉSENTÉ PAR :



Sébastien GILOT est restaurateur spécialisé en arts graphiques et livres, diplômé du master CRBC de l'université Paris1 en 2006. Exerçant depuis en tant que libéral, il est aujourd'hui doctorant en conservation au sein de l'UMR 9022 Héritages de l'université CY Cergy Paris-Université, dans le cadre d'une thèse

par le projet encadrée par le laboratoire de l'Institut national du patrimoine. Cette thèse a pour but d'étudier les matériaux colorants des estampes xylographiées en couleurs chinoises et d'identifier les techniques de caractérisation accessibles au restaurateur.

Woolly mammoth remove and move: using 3D virtual reconstruction in advanced preservation and packing preparation.

Déménagement et transport d'un mammouth laineux : utilisation de la reconstruction virtuelle 3D dans l'optimisation de la conservation et du conditionnement.

— Efstratia VERVENIOTOU¹ — Spyridoula PAPPA¹ —
Lauren BURLESON¹ — Tom RANSON¹

Keywords: digitization, conservation documentation,
light reconstruction

Corresponding author: e.verveniotou@nhm.ac.uk

This article examines the application of advanced surface scanning technology in the documentation, conservation, and de-installation of a *Mammuthus primigenius*, Blumenbach, 1799, specimen at the Natural History Museum (NHM) in London. The *Mammuthus primigenius* specimen, an iconic part of the museum's paleontological collection, presented significant challenges due to its large size, delicate preservation state, and intricate structural features. These challenges were compounded by the specimen's age and the complexity of its mounting, as it had been on its current display for many decades. The specimen, which includes a mammoth skull with tusks, lower jaw, and soft tissues from Siberia, was delicately preserved, but the traditional methods of documentation were insufficient to

¹ Natural History Museum, Londres, Grande-Bretagne

capture its intricate details without risking physical damage, particularly to its tusks and skeletal structure.

The complexity of the mammoth's mounting made the de-installation process complex and challenging. The tusks, loosely positioned within their cavities, were at risk of detaching or shifting if not handled with the utmost care. Additionally, the preserved soft tissues required meticulous handling to avoid any damage. These challenges necessitated the use of advanced technologies to document, conserve, and safely remove the specimen from display. Traditional methods like manual measurements, photography, and sketches were inadequate, as they often require physical adequate space and contact with the specimen, putting it at risk. Photography could not capture the full depth or intricate texture of the bones, especially minute cracks and other details that were crucial for conservation efforts. Furthermore, these methods were unable to provide a comprehensive, 360-degree view of the specimen, limiting their usefulness for future conservation or research.

In response to these limitations, NHM scientists utilized high-resolution 3D light-reconstruction and laser surface scanning technologies and photogrammetric digitization to create a detailed, non-invasive digital model of the *Mammuthus* specimen. The light-reconstruction scanners work by projecting a pattern of light onto the surface of a specimen, which visible light cameras and filtered light cameras read to give a measurement of the deformation of the surface at any given point. The high resolution of the captured images results in an accuracy of 0.1 mm of any measured point. The surface laser scanner operates on a similar principle, projecting a blue light laser line onto the surface that is read by the detector. The higher precision of the laser line results in an accuracy of 0.01 mm of any measured point. This cutting-edge technology provided a precise, comprehensive record of the specimen's current state,

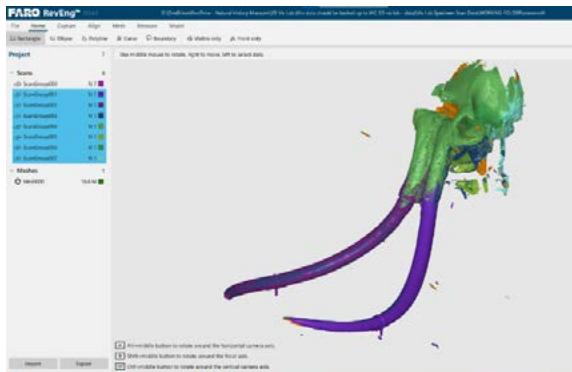
capturing even the finest details—from the texture of the tusks to the alignment of bones. The resulting digital model from both technologies is merged and proved invaluable in documenting the mammoth's condition and in assisting with the safe de-installation process. By providing a virtual representation of the specimen, the 3D model enabled the museum team to plan a stable, custom frame for its removal, considering the specimen's delicate nature and large size.

By simulating the handling process in a virtual environment, the team was able to test different frame designs and refine their approach to minimize any risk of damage. The scanning data provided precise measurements of the specimen's dimensions, enabling the team to assess the best locations for support and lifting points, ensuring safe removal and transfer. Future changes in specimens' structure are now trackable via the 3D data created, as these can be used as a detailed baseline representation of the mammoth's condition and subsequent scans could be compared with the original model to detect potential signs of deterioration, such as cracks, shifts in alignment, or loosening of delicate parts like the tusks. This proactive approach allows the conservators to intervene promptly, addressing any issues before they led to significant damage. Hence, the digital model serves also as a vital resource for preserving the mammoth's integrity for future generations, enabling timely and targeted conservation measures as well as facilitating future research purposes by sharing these digital data via well-known and open access platforms such as SketchFab and Morphosource, thus minimizing the need for physical handling, reducing exposure to environmental stressors that could damage the specimen. In the event of unforeseen damage, the 3D model also served as a valuable backup, offering a means to replicate or restore the specimen in the future.

Furthermore, the use of the 3D scanning technology enabled the museum team to simulate the entire process of

de-installation and transportation before physical work began. Virtual prototypes of the frame were tested, allowing the assessment of different designs and transportation methods while minimizing the risk of damage. By incorporating the scanning data into the planning phase, the team could ensure that the specimen was safely handled at every stage of its removal and transport.

This case study highlights the potential of surface scanning technology to significantly enhance the preservation, documentation, and handling of fragile, complex specimens. By creating an accurate, non-invasive digital representation, this technology enables scientists to interact with and study specimens without the need of direct physical contact and the digital model serve as an invaluable resource for future management and research of this iconic woolly mammoth specimen, securing it for future purposes and generations to come.



3D composite scan of the *Mammuthus primigenius* specimen displayed in FARO RevEng



PRESENTED BY:



Efstratia (Effie) Verveniotou is a Senior Conservator at the Natural History Museum, London, where she leads complex conservation treatments and gallery projects. With over 16 years of experience, she specialises in the preservation of natural history collections, including palaeontological specimens, taxidermy, and plastinated materials. Effie holds degrees in history and archaeology, conservation and collection care, and is an active contributor to international conferences and publications. Her work integrates scientific analysis, sustainable practices, and ethical conservation, with a strong emphasis on preventive care and collaborative research across disciplines to support the long-term preservation of cultural heritage.

Apport de la thermographie infrarouge stimulée à la conservation-restauration des peintures sur bois : application à l'étude de quatre panneaux peints du XVI^e siècle.

Contributions of stimulated infrared thermography to the conservation and restoration of panel paintings: application to four painted panels from the 16th century.

— Nicolas BOUILLON¹ — Kamel MOUHOUBI² —
Jean-Luc BODNAR³

Mots-clefs : thermographie infrarouge stimulée, peintures sur bois, diagnostic, défauts structurels

Autrice correspondante : nicolas.bouillon@cicrp.fr

La conservation des peintures sur bois constitue encore aujourd’hui une problématique particulièrement complexe, à fortiori pour les œuvres conservées dans les monuments historiques qui subissent régulièrement d’importantes variations climatiques. Les changements de température, mais surtout l’humidité relative ambiante, engendre des cycles de dilatation contraction qui peuvent mener à des désordres structurels très sévères de la couche picturale.

¹Centre interdisciplinaire de conservation et restauration du patrimoine (CICRP), Marseille, France / ²Docteur en mécanique des fluides, énergétique, thermique, combustion, acoustique de l’université de Reims Champagne-Ardenne, chercheur indépendant, Reims, France / ³Institut de recherche scientifique dans les domaines de la thermique, de la mécanique et des matériaux (ITheMM), université de Reims Champagne-Ardenne, Reims, France

L'occurrence et l'intensité de ces derniers dépendent de plusieurs facteurs : la nature des matériaux constitutifs de l'œuvre, les techniques de réalisation du support et de la couche picturale, l'amplitude et la fréquence des variations climatiques ou encore les conditions de développement de dégradations d'origine biologique (contamination par les moisissures ou infestation d'insecte). Une surveillance régulière de l'état de conservation de ces œuvres doit être mise en place afin d'éviter un niveau de dégradation trop important et une perte irréversible de la matière picturale originale. Ainsi, le développement de techniques de diagnostic non invasives, portables et déployables *in situ* devient une nécessité.

Dans ce contexte, la thermographie infrarouge stimulée apparaît particulièrement adaptée pour identifier les défauts structurels des peintures sur bois (fissures, décollements, soulèvement de couche picturale, pertes de matière). Cette technique consiste à générer une stimulation thermique légère, de quelques degrés Celsius, par des lampes (halogène ou source infrarouge) et à enregistrer le différentiel de comportement thermique des différents matériaux constitutifs de l'œuvre. Ce différentiel est conditionné par les propriétés thermo-physiques des matériaux (émissivité et diffusivité thermique).

Les caméras à capteur bolométrique, relativement peu coûteuses et facile à mettre en œuvre sur le terrain, permettent d'obtenir une imagerie de la structure interne des panneaux peints jusqu'à plusieurs centimètres de profondeur, sans décrochage de l'œuvre, permettant ainsi un gain de temps et une réduction des coûts considérables. Dans notre cas, la caméra infrarouge FLIR A655-SC permet d'enregistrer, au sein d'une séquence vidéo basse fréquence (entre 1 et 12 Hz), les différentes images (thermogrammes) dans les phases d'échauffement et de refroidissement de la surface de l'œuvre. Le traitement des résultats est effectué

avec le logiciel IR Explorer, développé sous la direction de Jean-Luc Bodnar du laboratoire ITheMM de l'université de Reims Champagne-Ardenne avec le soutien de la SATT Nord (Société d'accélération de transfert de technologie). Ce dernier permet de réaliser des post-traitements des données, en mode statique (sur une seule image de la séquence vidéo) ou en mode dynamique (intégrant plusieurs images de la séquence vidéo), afin d'obtenir une meilleure détection des phénomènes thermiques et ainsi d'en améliorer la lecture sur l'image.

Depuis 2018, le CICRP mène des recherches en collaboration avec l'ITheMM de l'université de Reims, Champagne-Ardenne sur l'apport de thermographie infrarouge stimulée pour la caractérisation des altérations structurelles des peintures sur bois. Ces travaux constituent une suite logique aux travaux appliqués dans un premier temps à la conservation-restauration des peintures murales, des structures maçonnées, ou des objets d'art. Nos recherches se sont articulées selon deux axes principaux. Dans un premier temps, une étude réalisée sur des éprouvettes de peinture sur bois, fabriquées selon des techniques traditionnelles par une restauratrice de peinture, a été mise en place afin d'optimiser le protocole d'acquisition et d'évaluer l'influence de la composition des matériaux du support et de la couche picturale sur le thermogramme obtenu. Dans un second temps, quatre panneaux peints en restauration dans les ateliers du CICRP ont été analysés. Les deux premiers sont des panneaux de Louis Bréa datant du XVI^e siècle et conservés à Nice : le panneau central du *Retable de la Crucifixion* de l'église du monastère de Cimiez et celui de *La Vierge de Miséricorde* de la chapelle de la Miséricorde. Les deux autres œuvres analysées sont *La Vierge au Manteau*, d'André Carton, datée de 1530 et conservée dans l'église Notre-Dame-du-Peuple à Draguignan, et enfin *Le panneau du Christ mis au Sépulcre* du *retable du Crucifix* d'Antoine Ronzen, daté du XVI^e siècle

et conservé dans la basilique Sainte-Marie-Madeleine de Saint-Maximin-la-Sainte-Baume.

Les résultats démontrent l'efficacité de la thermographie infrarouge stimulée (TIRS) pour caractériser la structure interne des panneaux de bois. La visualisation précise, à travers la couche picturale du veinage des différentes planches, permet de déterminer le débit de coupe des planches sur la grume (dosse, quartier, faux quartier), la présence de défauts comme des nœuds et ainsi d'identifier les zones de faiblesse et de prévoir la déformabilité de celles-ci aux variations thermo-hygrométriques. Par ailleurs, dans le cas d'œuvres ayant subi des infestations par des insectes xylophages, et dont on ne distingue en surface que les trous d'envol, la thermographie permet de cartographier les galeries creusées par les insectes à l'état de larves et ainsi de mieux caractériser la sévérité d'une infestation et le degré de fragilité de l'œuvre dans les zones touchées.

Les thermogrammes obtenus révèlent également les éléments d'assemblages en bois ou en métal (chevilles, papillons, agrafes), peu ou non visibles, présents à l'origine ou ajoutés au moment de restaurations. Pour la caractérisation structurelle du support, la thermographie infrarouge stimulée devient ainsi une alternative intéressante et beaucoup plus simple à mettre en œuvre que la radiographie X qui nécessite le décrochage de l'œuvre, une réalisation en bunker radio-protégé et un temps de développement/traitement très important.

Concernant la couche picturale, la TIRS permet de visualiser les soulèvements consécutifs à une perte d'adhésion sur le support. En effet, l'accumulation de chaleur à l'interface entre la matière picturale et le vide se distingue sous la forme d'un point chaud sur le thermogramme. Ce résultat permet d'éviter les diagnostics ponctuels réalisés manuellement par sondage acoustique qui peuvent contribuer à fragiliser encore un peu plus les zones en soulèvements. Par

ailleurs le diagnostic par thermographie caractérise plus précisément la forme et l'étendue du soulèvement, discriminant par exemple les zones de soulèvement contigües ou non.

Les résultats obtenus démontrent que la thermographie infrarouge stimulée constitue une technique de diagnostic non destructif particulièrement intéressante dans le cadre d'aller-voir, d'études préalable et en cours de restauration. Sa facilité de mise en œuvre, son coût relativement réduit et l'accessibilité d'interprétation des résultats qu'elle fournit, sous forme d'imagerie, en font un outil adapté aux besoins des scientifiques du patrimoine comme des conservateurs-restaurateurs.



Résultats thermographiques sur panneau de *La Vierge au manteau*, 1530, André Carton

A gauche : Zone analysée

A droite, en haut : détail de la photographie en lumière directe

A droite, en bas : A droite : thermogramme montrant fissures, chevilles, clous, galeries d'insectes et soulèvements sous la couche picturale.

PRÉSENTÉ PAR :



Nicolas BOUILLON est ingénieur de recherche au CICRP, spécialisé dans la conservation des matériaux d'art moderne et contemporain. Ingénieur chimiste de formation, il a d'abord travaillé sur la conservation des peintures de chevalet anciennes de 2004 à 2019 puis en conservation-préventive de 2019 à 2022, avant de se tourner vers l'art moderne en 2022. Ses recherches portent sur la caractérisation physico-chimique des matériaux organiques (naturels et synthétiques) et le développement de techniques analytiques pour le diagnostic, l'étude et la recherche en conservation-restauration.



Kamel MOUHOUBI est enseignant et docteur de l'université de Reims Champagne-Ardenne. Sa thèse portait sur l'analyse et la détection d'altérations structurelles sur les œuvres du patrimoine par thermographie infrarouge. Dans le cadre de ce travail, il a participé à plusieurs chantiers de restauration d'œuvres d'art et a aussi publié plusieurs articles de recherche sur l'apport de la thermographie infrarouge pour l'étude et la restauration d'œuvres et l'intérêt des post-traitements comme aide au diagnostic

Approches non invasives et innovations méthodologiques pour la conservation de la tapisserie de Bayeux.

Non-invasive approach and methodological innovations for the conservation of the Bayeux Tapestry.

— Arnaud DARET¹ — Thalia BOUZID² — Mohamed DALLEL³

Mots-clés : Système d'information documentaire spatialisé (SIDS), méthodes non invasives, modélisation mécanique, tapisserie de Bayeux, revêtement textile.

Autrice correspondante : arnaud.daret@unicaen.fr

Dans le cadre du projet de restructuration du musée de la Tapisserie de Bayeux, un volet numérique a permis la mise en place d'un Système d'information documentaire spatialisé (SIDS). Cet outil facilite à la fois la redocumentarisation de l'œuvre mais apporte aussi un accès simplifié à cet objet aux proportions monumentales, grâce à sa représentation numérique complète sur laquelle il est possible d'indexer spatialement tout type d'information.

Début 2020, un constat d'état matériel de l'œuvre a été commandé par le ministère de la Culture afin de répondre à plusieurs questions : dans quel état de conservation se trouve cet objet millénaire depuis son dernier changement de lieu de conservation en 1983 et quelles sont les altérations problématiques subies – dont les dégradations engendrées par sa suspension à la verticale dans une vitrine en

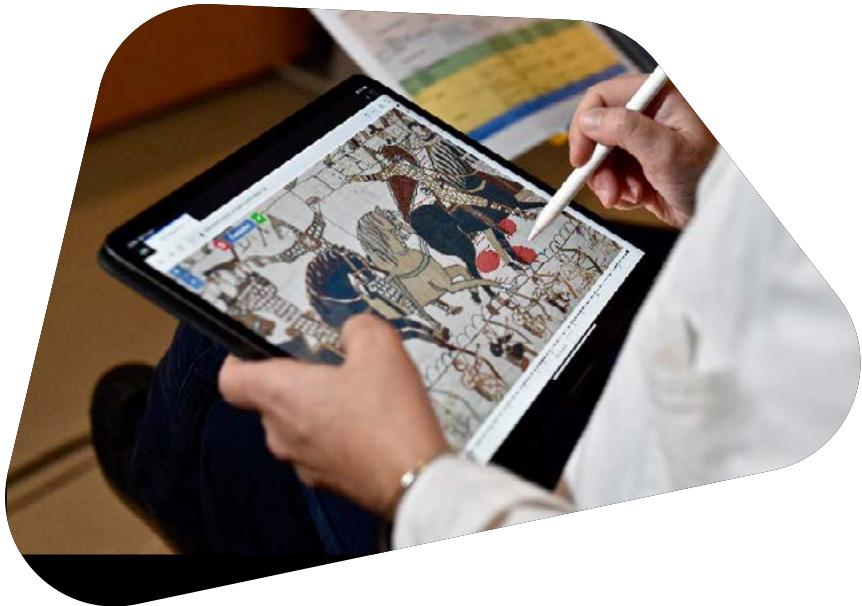
¹ CERTIC, université de Caen-Normandie, France / ² Conservatrice-restauratrice indépendante, Paris, France / ³ Laboratoire de recherche des monuments historiques (LRMH), Champs-sur-Marne, France

forme de U – durant plus de 40 ans ? Ce constat d'état devait permettre également d'estimer le temps nécessaire pour sa restauration.

Afin de procéder à cette tâche colossale (la tapisserie de Bayeux est une broderie de laine sur toile de lin de 68,38 m de long sur environ 0,70 m de haut, classée Monument historique sur la liste de 1840) en un temps relativement court (vingt et un jours ouvrés) via une méthode totalement non invasive, il a fallu mettre en place un protocole efficace et suffisamment précis pour faciliter la saisie des altérations, le suivi des opérations, la lecture et l'analyse des résultats et proposer *in fine* une aide à la décision concernant les interventions de conservation-restauration et le futur mode de présentation.

Pour que cette aide à la décision repose sur des données tangibles et prospectives, un second axe d'étude a été développé autour du comportement mécanique des textiles anciens et des supports d'exposition envisagés. La recherche s'est alors attachée à mieux comprendre le vieillissement mécanique des textiles patrimoniaux, en s'appuyant sur la simulation numérique. Cette étude a combiné modélisation rhéologique, principes de la mécanique des milieux continus et développement expérimental fondé sur la corrélation d'images. L'objectif était d'anticiper les comportements différés et les contraintes exercées sur les fibres dans différentes configurations de présentation, comme les angles d'inclinaison. Ces travaux fournissent ainsi des éléments complémentaires d'aide à la décision pour le choix d'un futur mode d'exposition de la broderie de Bayeux, en tenant compte de ses propriétés intrinsèques.

Parallèlement, une étude spécifique a été menée pour sélectionner le revêtement à interposer entre l'œuvre et sa future table de présentation, en s'appuyant sur les matériaux couramment employés en conservation-restauration des textiles et ceux mentionnés dans la littérature scientifique.



Relevés sur tablette numérique à l'aide de l'outil SIDS. Copyright S. Maurice, Bayeux Museum.

Après une présélection de matériaux candidats et la vérification de leur innocuité chimique selon les tests d'Oddy, plusieurs cycles de vieillissement accéléré ont été appliqués. Les revêtements ont été évalués selon un ensemble de critères combinant stabilité colorimétrique, chimique et morphologique, complétés par des analyses mécaniques en traction et la mesure du coefficient de frottement. L'objectif était de garantir non seulement une innocuité des matériaux, mais aussi une compatibilité optimale avec les contraintes d'exposition, une facilité de mise en œuvre ainsi qu'une limitation des déformations pour une conservation de la broderie à long terme.

En conclusion, ces travaux montrent combien l'association d'approches scientifiques (dont les non invasives), techniques et documentaires est déterminante pour orienter les choix en conservation préventive. Cependant, elles ne

prennent tout leur sens que lorsqu'elles sont croisées avec les observations de terrain et la connaissance fine des restauratrices et restaurateurs. À cela s'ajoute désormais l'apport du Système d'information documentaire spatialisé (SIDS) qui permet de relier spatialement les données, de visualiser les altérations et d'intégrer les résultats de recherches dans une logique de suivi à long terme.

Cette synergie entre expérimentation, modélisation, image-rie, expertise humaine et outils numériques ouvre la voie à des décisions plus éclairées, adaptées à la complexité matérielle et historique d'une œuvre aussi exceptionnelle que la broderie de Bayeux. Elle permet de penser sa préservation, non seulement comme une réponse aux urgences mais aussi comme une stratégie anticipatrice construite à l'échelle du temps long.

PRESENTED BY:



Arnaud DARET est ingénieur d'étude spécialisé dans le développement informatique pour les projets de recherche au CERTIC université de Caen Normandie. Il est le responsable du CERTIC, un plateau technique entièrement dédié au transfert des technologies informatiques de l'université Caen Normandie. Depuis plus de vingt ans, son travail consiste à proposer aux entreprises, aux collectivités publiques et aux laboratoires des moyens humains et matériels pour valoriser leurs travaux et compétences en s'appuyant sur le réseau des laboratoires publics normands, quels que soient leurs domaines d'application.



Thalia Bouzid est conservatrice-restauratrice de textiles patrimoniaux, diplômée de l'Institut national du patrimoine. Elle exerce en indépendant à Paris, principalement pour les musées et les monuments historiques. Elle a participé au constat d'état de la broderie de Bayeux en 2020 et a été mandataire pour les études préalables menées ces cinq dernières années en vue de son extraction, de sa conservation et de son exposition, en collaboration avec des ingénieurs, conservatrices-restauratrices, préventiste et architectes.



Mohamed Dallel est ingénieur de recherche au ministère de la Culture et responsable du pôle scientifique « Textiles » au Laboratoire de recherche des monuments historiques (LRMH), spécialiste des fibres et des colorants. Il travaille sur l'analyse des textiles patrimoniaux et l'identification des colorants à travers des techniques analytiques avancées ainsi que sur le développement de protocoles de conservation préventive. Il allie ainsi expertise scientifique, outils analytiques et modélisation numérique pour guider les choix de conservation-restauration.

Diagnostic et évaluation multimodale des œuvres sculptées.

Multimodal diagnosis and evaluation of sculpted works.

— Marie-Laure CHAVAZAS¹ — Colin GUENSER² —
Jérémie BERTHONNEAU¹ — Cédric PAYAN² — Eric DEBIEU² —
Livio DE LUCA³ — Philippe BROMBLET¹

Mots-clefs : sculpture, tomographie acoustique, simulation numérique, approche non destructive

Auteur correspondant : jeremie.berthonneau@cicpr.fr

La préservation des œuvres sculptées repose sur une bonne connaissance de leur état de conservation ; or, les documents techniques dont disposent les conservateurs (rapports de découverte ou de restauration, par exemple) rassemblent principalement des informations relatives à l'état de surface. Cependant, certains mécanismes de dégradation affectent les matériaux constitutifs à cœur, sans nécessairement présenter de symptômes superficiels. Une approche combinant imagerie 3D, annotation sémantique des altérations et auscultation tomographique non destructive a donc été développée pour évaluer et relier les états de conservation externes et internes de plusieurs œuvres hébergées dans le musée départemental Arles antique et le musée d'histoire de Marseille.

Cette approche a été appliquée sur des sculptures en marbre (l'autel d'Apollon, le buste d'Auguste et la statue de Pierre de Libertat) car ce matériau est particulièrement affecté par des phénomènes de décohésion interne provoqués par l'exposition

¹Centre interdisciplinaire de conservation et restauration du patrimoine (CICRP), Marseille, France / ²Aix Marseille Université, CNRS, Centrale Med, LMA, Marseille, France / ³CNRS, MAP-UPR CNRS 2002, Marseille, France

aux variations climatiques. Les œuvres étudiées présentent en effet des états de cohésion hétérogènes ainsi que des fissures superficielles d'extension inconnue qui préoccupent les conservateurs, les poussant parfois à exclure ces œuvres des projets d'exposition hors des murs de leurs musées d'origine.

Chaque sculpture a tout d'abord été modélisée en trois dimensions lors de campagnes photogrammétriques et les modèles 3D ainsi produits ont été utilisés tout au long de cette approche méthodologique. À partir d'observations *in situ*, de constats d'état et de rapports d'intervention, les altérations superficielles ont ensuite été reportées sur ces modèles sous forme d'annotations sémantiques. Ces annotations et les champs qui leur sont associés utilisent un vocabulaire contrôlé permettant de les requêter. Ainsi, l'ensemble permet d'évaluer l'état de conservation externe des sculptures étudiées.

À l'issue de ce travail descriptif, des campagnes de tomographie acoustique ont été menées afin de reconstituer la vitesse de propagation des ondes ultrasonores en trois dimensions. Lors de ces campagnes, les modèles 3D ont permis, d'une part, de construire un schéma d'acquisition en amont puis de repérer ces points de mesure lors de l'acquisition et, d'autre part, de mesurer précisément les distances entre les points d'émission et de réception. Les schémas d'acquisition ont été générés au préalable afin d'assurer une couverture volumique optimale des sculptures par les ultrasons. Les points de mesure ainsi déterminés ont ensuite été visualisés sur les œuvres, soit en projetant le modèle 3D sur l'œuvre, soit en superposant celui-ci à la sculpture grâce à la réalité virtuelle. Afin d'adapter la résolution des mesures à l'épaisseur des éléments sculptés, plusieurs modes d'acquisition ont été utilisés : différentes fréquences d'émission (54 ou 150 kHz) et différents modes de réception des signaux acoustiques (transducteur piézoélectrique ou vibromètre laser). Dans

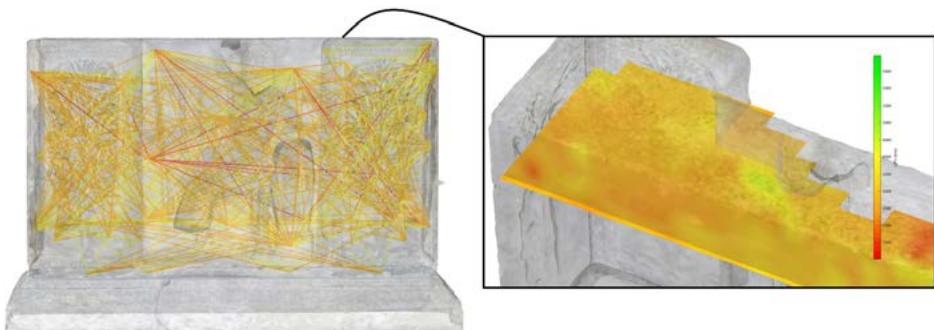
tous les cas, à partir des vitesses de propagation mesurées entre chaque émetteur-récepteur du schéma d'acquisition, des traitements algorithmiques ont permis de reconstruire la vitesse de propagation des ultrasons en trois dimensions. Ces données acoustiques ont permis d'évaluer la cohésion interne des objets étudiés et ses relations avec les altérations de surface.

En parallèle, les données acoustiques ont été intégrées au sein de simulations numériques visant à évaluer les risques spécifiques liés à la posture (mécanique statique), au transport (mécanique dynamique) et aux conditions d'exposition de ces œuvres fragiles. En effet, le marbre étant un matériau particulièrement sensible aux variations climatiques, des cartographies de l'exposition au soleil de certaines œuvres exposées en extérieur pendant de longues périodes ont été générées numériquement.

L'ensemble de ces données a été fusionné au sein d'un outil permettant d'unifier, d'explorer et d'interroger des données hétérogènes. Grâce à cette plateforme, les données peuvent être visualisées par le biais de la réalité virtuelle. Ainsi, les différentes données acquises, reconstruites ou simulées (annotations, mesures acoustiques initiales, vitesses de propagation reconstruites, exposition au soleil, répartition du champ de contraintes) peuvent être visualisées dans le volume de l'œuvre, à l'intérieur de l'enveloppe formée par le modèle 3D. De plus, cette approche permet de superposer *in situ* le modèle 3D et les données qui lui sont associées à la sculpture réelle, afin de visualiser les résultats sur l'objet

Ainsi, l'approche méthodologique proposée permet d'apprécier l'état de conservation de sculptures tout en évaluant les risques relatifs aux défauts visibles et invisibles, à la posture ainsi qu'au transport des œuvres étudiées. *In fine*, cette approche pluridisciplinaire tend à fournir des éléments de réponse aux préoccupations des conservateurs quant à la présentation mais aussi à la mobilité de ces objets fragiles.

Elle permettra aussi aux futurs conservateurs-restaurateurs de disposer de l'ensemble des données relatives à l'état de conservation des œuvres en amont de leur intervention.



À partir des mesures de propagation de la vitesse du son (à gauche), une cartographie de la vitesse du son dans le volume de l'objet est produite (à droite, coupe transversale)

PRÉSENTÉ PAR :



Pendant son doctorat au Laboratoire de mécanique et d'acoustique (LMA/CNRS) de Marseille et au CICRP, **Marie-Laure Chavazas** étudie l'impact des variations thermo-hygiéniques sur les propriétés mécaniques du marbre de Carrare, grâce à des techniques acoustiques. Une application à l'étude de l'état de conservation de sculptures en marbre est mise en œuvre et elle poursuit actuellement cet axe de recherche dans le cadre d'un postdoctorat en collaboration avec le CICRP, le LMA et le Laboratoire modèles et

simulations pour l'architecture et le patrimoine (MAP/CNRS). L'objectif de ce projet est le développement d'un outil de diagnostic et d'évaluation des œuvres sculptées combinant des méthodes de numérisation 3D, d'annotation sémantique des altérations et d'auscultation acoustique en 3D.

Apports des sciences du bois et de l'ingénieur à la conservation préventive de *La Joconde*.

Contribution of wood sciences and engineering to the preventive conservation of *Mona-Lisa*.

— Joseph GRIL¹ — Lorenzo RIPARBELL² —
Jean-Christophe DUPRÉ³ — Gaël GODI¹ —
— Delphine JULLIEN⁴ — Patrick MANDRON⁵ —
Elisabeth RAVAUD⁶ — Marco FIORAVANTI² — Luca UZIELLI²

Mots-clefs : bois, panneau peint, mécanique, monitoring

Auteur correspondant : joseph.gril@cnrs.fr

Depuis 2004, le panneau en bois de *La Joconde* est suivi par une équipe de recherche internationale constituée de spécialistes de science et technologie du bois, de mesures optiques pour la mécanique et de conservation-restauration. Cette action collective a suscité le lancement de projets de recherche et le développement de techniques innovantes pour la conservation des panneaux peints. La démarche adoptée et les principaux résultats obtenus seront présentés lors de cette communication.

Initialement chargé d'évaluer les spécifications climatiques adoptées pour la nouvelle vitrine climatisée, le groupe s'est rapidement donné pour objectif d'évaluer le risque de propagation d'une fissure préexistante dans le bois, ainsi que d'améliorer l'encadrement du panneau et la procédure de contrôle.

¹ Université Clermont-Auvergne, CNRS, institut Pascal, Clermont-Ferrand, France / ² DAGRI, Université de Florence, Florence, Italie / ³ Institut PPRIME, université de Poitiers, CNRS, Poitiers, France / ⁴ LMGC, université de Montpellier, CNRS, Montpellier, France / ⁵ Ateliers d'Enghien, Paris / ⁶ Centre de recherche et de restauration des musées de France (C2RMF), Palais du Louvre, Paris



Vue arrière du système d'encadrement de *La Joconde* : panneau de peuplier maintenu dans un châssis-cadre en chêne au moyen de traverses en érable équipées de limiteurs de force, le tout placé dans le cadre visible de face. La traverse centrale contient entre autres l'électronique permettant la transmission en temps réel des données du monitoring.

Le panneau en peuplier était maintenu par quatre traverses en érable contre un châssis-cadre en chêne, lui-même masqué par le cadre sculpté, et l'examen annuel se limitait à des mesures de flèches pour contrôler la stabilité de la courbure convexe, typique d'un panneau peint sur une seule face. Les traverses devant être adaptées au nouveau système d'accrochage, les premières opérations ont consisté à les remplacer par des traverses en érable munies de capteurs mesurant les efforts exercés sur la face arrière, tandis qu'une traverse supplémentaire en aluminium et placée à mi-hauteur, sans fonction structurelle, accueillait des capteurs de déplacement, de température et d'humidité, ainsi que toute l'électronique d'acquisition. Ces mesures enregistrées en continu durant l'exposition de l'œuvre viennent compléter diverses observations effectuées lors de l'examen annuel, notamment des mesures optiques de la forme du panneau et de ses variations,

en remplacement des mesures manuelles. Au fil des années de multiples améliorations ont été apportées au système de suivi. Outre une meilleure précision des mesures elles-mêmes, leur acquisition et contrôle à distance a été rendu possible, aboutissant à leur visualisation en temps réel.

Les données obtenues ont permis d'alimenter un modèle numérique par éléments finis, permettant de simuler la réaction mécanique du panneau, contraint par l'action du châssis-cadre, aux petites variations de température et d'humidité survenant à l'intérieur de la vitrine climatisée. Il a été ainsi possible de démontrer le faible risque de propagation de la fissure, dont l'ancienneté est attestée par l'apparence du réseau de craquelures au voisinage de la pointe. Le modèle a également servi à la conception de mécanismes permettant de limiter les efforts subis par le panneau sous l'effet de manipulations ou de variations de sa courbure naturelle. Certains paramètres, tels que la perméabilité et la rigidité de la couche picturale, demeurent toutefois mal identifiés ; ils seraient néanmoins indispensables pour une simulation complète du comportement hygromécanique nécessaire à une estimation du risque associé à d'éventuelles variations microclimatiques et permettraient la mise en place de critères de surveillance fiables.

PRÉSENTÉ PAR :

Joseph GRIL est diplômé de l'École polytechnique et de l'École nationale du génie rural, des eaux et des forêts. Il a obtenu son doctorat à l'université Paris 6 en 1988 après de longs séjours à l'université de Kyoto, puis son habilitation à diriger des recherches à l'université de Montpellier en 1997. Il est aujourd'hui directeur de recherche émérite du CNRS et médaille d'argent du CNRS en 2003. Ses travaux en mécanique du bois ont donné lieu à 125 articles évalués par des pairs, 13 chapitres de livres, 20 ouvrages édités ou actes de conférences. Ses recherches portent notamment sur la modélisation rhéologique, les relations entre la structure et les propriétés du bois, la biomécanique des arbres et la conservation du patrimoine culturel en bois.



Gaël GODI est ingénieur d'études à l'Université Clermont Auvergne. Rattaché à l'équipe M3G de l'Institut Pascal pour la recherche et à Polytech Clermont pour l'enseignement, il est responsable technique de la plateforme d'essais MSGC. Ses activités comprennent la conception de bancs d'essais et d'instruments de mesures, l'assistance aux essais et la formation des utilisateurs. Il enseigne également l'instrumentation dans un cursus de master de l'université et dans une formation spécialisée de Polytech. Son travail avec des chercheurs spécialisés dans le matériau bois a abouti au développement récent de capteurs dédiés et adaptés au suivi d'œuvres patrimoniales.

Usages du monitoring et de la thermographie dans la conservation du décor pérenne *L’Onde du Midi* d’Elias Crespin au Musée du Louvre.

Uses of monitoring and thermography in the conservation of Elias Crespin’s permanent installation *L’Onde du Midi* at the Louvre Museum.

— Laure Vidal¹ — Elias Crespin²

Mots-clés : contemporain, cinéétique, électromécanique, monitoring, thermographie

Autrice correspondante : laure.vidal7@gmail.com

La conservation des installations électromécaniques nécessite une approche alliant expertise technique et respect de l’intention artistique. La collaboration entre Elias Crespin et Laure Vidal illustre cette démarche à travers l’étude conjointe menée sur la préservation de *L’Onde du Midi*, décor pérenne exposé depuis 2020 au musée du Louvre.

Face aux défis spécifiques de conservation posés par *L’Onde du Midi*, deux approches non invasives ont été mises en place pour assurer un suivi adapté à la nature électromécanique de l’œuvre. Un système de surveillance logicielle, intégré dès la conception, permet de détecter en temps réel d’éventuelles anomalies telles que des coupures de courant ou des dysfonctionnements électroniques. Parallèlement, la thermographie infrarouge, en phase d’expérimentation, a pour objet d’étudier des variations de température anormales, indicatrices d’usure ou de problèmes structurels.

¹ SCOP Mine de Talents, Alès, France / ² Artiste sculpteur contemporain, Paris, France



Ce double dispositif, associant monitoring en continu et analyses thermiques ciblées, s'inscrit dans une stratégie de conservation préventive et curative. Depuis trois ans, un travail de documentation sous forme de fiches de maintenance bimestrielles, est transmis aux services du Louvre. Cette veille sanitaire, bénéficiant de l'expertise combinée de l'artiste et de la conservatrice-restauratrice, contribue à enrichir les connaissances mutuelles sur l'œuvre.

Inaugurée en 2020, *L'Onde du Midi* est un mobile électrocinétique monumental dont le mouvement ondulatoire, suspendu au-dessus de l'Escalier du Midi, évoque l'harmonie des équilibres naturels et plonge le spectateur dans une contemplation hypnotique. Son apparente légèreté résulte d'une mécanique de haute précision : cent-vingt-huit tubes en aluminium, noirs ou bleus, sont reliés par des tresses de polyéthylène transparentes à deux-cent-cinquante-six micro-moteurs logés dans une plateforme de commande en hauteur. Cette structure rectangulaire abrite l'ensemble des composants mécaniques et électroniques nécessaires au fonctionnement de l'œuvre, incluant moteurs, blocs d'alimentation, drivers et décodeurs, interconnectés aux ordinateurs

embarqués. La plateforme est reliée à un local technique voisin, où se trouvent l'armoire électrique et le modem routeur assurant une connexion internet. Cette configuration technologique complexe composée de sous-systèmes génère un effet visuel d'une étonnante simplicité, matérialisant la fusion entre art et ingénierie au cœur du travail d'Elias Crespin.

Les coupures de courant et la perte de connexion via la passerelle multimédia figurent parmi les dysfonctionnements récurrents de l'œuvre. Grâce à un système de surveillance logicielle et de notifications instantanées, l'équipe de maintenance peut intervenir rapidement. Ces interventions sont soigneusement documentées dans des fiches de maintenance illustrées, transmises au Service de l'Histoire du Louvre. Cette rigueur dans la documentation fait de *L'Onde du Midi* un cas d'étude remarquable d'utilisation d'approches non invasives adaptées aux œuvres contemporaines confrontées à l'obsolescence technologique.

Deux approches complémentaires assurent la surveillance et la maintenance de *L'Onde du Midi*. La première repose sur un système de monitoring interne, où les ordinateurs embarqués pilotent l'œuvre tout en enregistrant en temps réel les événements du système, qu'il s'agisse d'erreurs, d'alertes ou d'opérations en cours.

Parallèlement, une seconde approche repose sur la thermographie infrarouge. Cette méthode non invasive vise à analyser les variations de température à la surface de l'installation afin de détecter d'éventuelles anomalies thermiques, invisibles à l'œil nu. Les premiers tests réalisés sur d'autres œuvres à l'atelier ont révélé des surchauffes localisées de certains moteurs, confirmant la pertinence de cette approche pour anticiper d'éventuels dysfonctionnements. Des essais seront menés lors de la descente annuelle de la plateforme de commande pour la maintenance et le dépoussiérage, afin d'évaluer l'efficacité et les limites potentielles de cette technique dans un contexte muséal.

L'analyse des données issues du monitoring a révélé que les coupures de courant affectant l'installation électrique du musée, ont entraîné des dysfonctionnements. Pour y remédier, l'installation d'un onduleur a été proposée afin de stabiliser l'alimentation électrique et protéger l'œuvre. Ce nouvel équipement intégrera un micro-ordinateur capable d'interagir avec ceux présents dans l'installation pour gérer la mise en veille du système, illustrant ainsi une mesure concrète de conservation préventive.

La thermographie infrarouge est prometteuse pour identifier des dysfonctionnements sur les moteurs. Cette méthode devrait permettre de repérer des anomalies thermiques sur certaines parties de l'installation, comme des surchauffes locales au niveau des connexions électriques, pouvant indiquer des courants excessifs ou des contacts défectueux. Une attention particulière doit être portée aux matériaux environnants, notamment les câbles, qui, sensibles à la chaleur, pourraient se dégrader avec le temps.

L'ensemble de ces approches vise à anticiper d'éventuelles défaillances en permettant le remplacement ou la réparation préventive des composants, tout en garantissant la préservation de l'intégrité esthétique et fonctionnelle de l'œuvre. Considérés comme des « consommables », ces éléments peuvent être renouvelés sans altérer l'intégrité de l'installation, à condition que chaque intervention soit documentée avec rigueur.

Travailler sur *L'Onde du Midi* offre une opportunité rare : celle d'un dialogue sur le long terme entre l'artiste et la conservatrice-restauratrice, au sein d'une institution où la compréhension de l'œuvre est pensée comme une condition essentielle à sa préservation. Cette collaboration continue permet d'expérimenter et d'affiner progressivement les stratégies de conservation, en ajustant les outils de suivi aux spécificités de l'installation.

Parmi les perspectives d'amélioration, une meilleure lisibilité des alertes générées par les ordinateurs embarqués serait un atout. Des graphiques issus des mesures internes pourraient venir compléter la documentation. De même, un approfondissement de l'analyse des données thermographiques pourrait affiner la détection des anomalies structurelles, notamment en définissant des seuils précis de tolérance thermique pour mieux anticiper les dégradations potentielles.

Enfin, ces méthodes pourraient s'intégrer dans une réflexion plus large sur la conservation des œuvres cinétiques et électromécaniques, en servant de modèle pour d'autres installations confrontées aux mêmes défis technologiques et matériels.

PRÉSENTÉ PAR :



LAURE VIDAL est une conservatrice-restauratrice spécialisée en art contemporain, avec une expertise particulière dans la préservation des œuvres technologiques et électromécaniques. Depuis mai 2022, elle collabore étroitement avec l'artiste Elias Crespin et son équipe sur la maintenance et la conservation de *L'Onde du Midi*, installation cinétique pérenne du musée du Louvre. Plus récemment, elle a également coordonné la conservation-restauration de *Ni apparence, ni illusion* de Joseph Kosuth au sein de la même institution. Ses recherches actuelles portent sur l'obsolescence technologique et les méthodes de documentation adaptées aux œuvres, dans le respect des principes déontologiques et de l'intention artistique.



Elias CRESPIN est un artiste vénézuélien dont les sculptures cinétiques associent art et technologie. Après une formation initiale dans l'ingénierie informatique, il débute sa carrière artistique en 2002 en explorant le mouvement à travers des structures métalliques suspendues, animées par des moteurs et une programmation algorithmique. Héritier d'une double influence scientifique et artistique, il s'inspire de son héritage familial – petit-fils de l'artiste Gego – pour créer des œuvres alliant géométrie, lumière et transformation. Son travail est exposé entre autres dans les collections permanentes du musée du Louvre et du Museum of Fine Arts de Houston. Depuis 2008, il vit et travaille à Paris.

Présentation Invité – Invited speaker

Restoration of Santa Croce's Masterpieces

— Emanuela Daffra¹, Opificio Delle Pietre Dure¹

Auteur correspondant : emanuela.daffra@cultura.gov.it

Résumé en attente.

Voir sur la version en ligne sur le QR-Code



¹ Opificio delle pietre dure, Florence, Italy.

Instrumental development for the non-invasive three-dimensional elemental analyses of painted works of art.

Développement instrumental pour les analyses élémentaires tridimensionnelles non invasives des œuvres peintes.

— Thomas CALLIGARO^{1,2} — José TAPIA^{1,3} — Antoine TROSSEAU¹
— Antoine BLASIAK¹ — Laurent PICHON^{1,2} — Brice MOIGNARD^{1,2} —
Myriam EVENO^{2,3} — Ina REICHE¹

Keywords: non-invasive analysis, MA-XRF, 2D XRF elemental imaging, CXRF, 3D XRF elemental imaging, portable instrumentation, paintings, ancient pigments

Corresponding author: ina.reiche@culture.gouv.fr

Scientific physicochemical analyses of paintings and other painted artworks follow well established procedures, typically applied in a museum's scientific department, a research institution, or *in situ*. To examine paintings, usually a combination of imaging and cross-sectional analyses is applied. Scientific imaging techniques, such as X-ray Radiography (XRR), Infrared Reflectography (IRR), macro-X-ray Fluorescence Spectroscopy (MA-XRF), Infrared (IR) and Ultraviolet (UV) Photography, Reflectance Imaging Spectroscopy (RIS), or Neutron-Activation Auto-Radiography (NAAR), give representative results –such

¹ Laboratoire de développement instrumental et de méthodologies innovantes pour les Biens Culturels (Lab-BC), UAR3506 CNRS – C2RMF – Chimie ParisTech PSL University, Paris, France.

² Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France (C2RMF), Paris, France.

³ Institut de recherche de Chimie Paris (IRCP), UMR8247 CNRS – Chimie ParisTech PSL University, Paris, France.

as a first idea on the palette employed and the pigment distribution paintings- and guide the selection of spots for local analyses to be further performed. Cross-sections prepared from micro-samples taken from particular locations in the artwork can then be analysed by Optical Microscopy (OM), Scanning Electron Microscopy coupled with an Energy-Dispersive X-ray system (SEM-EDX) or Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared spectroscopy (ATR-FTIR), allowing for a unique detailed study of the stratigraphy of the painting or layered artwork at the local scale.

X-ray fluorescence is a firmly established and commonly used non-invasive technique in art analysis. Information on the elemental composition of pigments or other materials present can be inferred, in an efficient, fast and non-destructive way. Moreover, in recent years an evolution of punctual XRF, confocal XRF (CXRF), has been developed and applied on cultural heritage artworks. These state-of-the-art analyses allow for the exploration of the paint layer stratigraphy and elemental composition in a total non-invasive way not available with other techniques, avoiding, reducing or even replacing micro-sampling without compromising the results. This depth-resolved methodology, combined with imaging techniques, can be used to reconstruct the paint layers present in an artwork, obtaining a three-dimensional (3D) vision more complete of the painting in a non-invasive manner.

In this work we present the newly developed portable device "LouCOMAX" combining CXRF depth-resolved capabilities with two-dimensional MA-XRF elemental imaging to enable *in situ*, non-destructive elemental analyses of painted works of art. This prototype enables the non-invasive characterization of the chemical composition and stratigraphy of artworks, reducing the need to sample and providing a more complete three-dimensional view of the object than what was previously achievable. The instrument is a portable system equipped with a lightweight and transportable

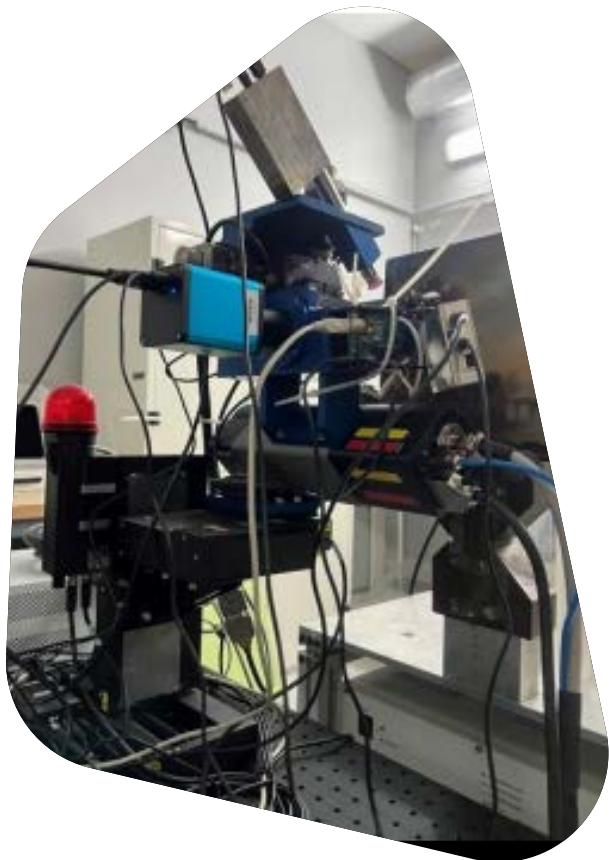
measuring head, enabling sequential analyses in both MA-XRF and CXRF modes. This combination of techniques in a single instrument improves aspects such as precision, efficiency, ease of use, and versatility, while reducing radiation exposure time.

During the instrument's development, it was deemed necessary to characterize and determine the chemical composition of representative artworks like those this device would later analyse. Various XRF techniques were employed, including MA-XRF and CXRF, with the results combined and compared with those obtained from other techniques commonly used in cultural heritage studies. The artworks studied included easel paintings such as a Botticelli workshop masterpiece and a French Renaissance work from the Louvre Museum. Information was gained on aspects including the materials employed and the artist's technique, providing answers to questions ranging from the historical context surrounding their creation, to restoration or even authentication efforts. Such studies further helped refine the device's characteristics to address the specific needs and challenges encountered during these investigations. The power and possible future relevance of such a non-invasive combination of techniques, supported by reduced sampling, was stressed along these case studies.

The portable prototype incorporates state-of-the-art components in an artwork-safe scanner. An open source, user-friendly control software was developed for the control of the device. Moreover, this program further supports the tasks of spectral data acquisition, real-time visualization of the MA-XRF elemental mappings, and processing the subsequent CXRF depth-profiles.

Initial tests and characterization on model samples, as well as first application on real artworks show that this heritage-study safe instrument can provide detailed 3D results of painted artworks and reduce the need for sampling in an easy-to-use

interface, proving of great significance to future heritage studies. The growing relevance of non-invasive approaches in cultural heritage studies and the current shift towards such methodologies, positions this instrument and future ameliorations of it to play a pivotal role in the years to come. As the technology continues to evolve and improve, devices combining MA-XRF and CXRF –with perhaps further techniques– could become standard tools in museums and heritage labs within the next decade, providing invaluable insights while safeguarding the integrity of our cultural treasures.



Newly developed "LouCOMAX" device in front of a test painting © CNRS J. Tapia - I. Reiche

PRESENTED BY:



Ina REICHE is CNRS research director. Since 2024, she has been the Lab-BC director (UAR3506 CNRS/Chimie ParisTech-PSL University/C2RMF), after having directed the Rathgen research laboratory of the National Museums in Berlin. With a broad knowledge of cultural heritage materials and non-invasive analytical techniques, she is currently conducting interdisciplinary research on prehistoric ivories, pigments and easel paintings. She has been co-editor of Archaeometry magazine since 2013. Recently she has been the president of the scientific committee of the SR2A conference as well as member of the scientific councils of the SOLEIL synchrotron and the Leibniz Centre for Archaeology (LEIZA).

Analyses physico-chimiques non invasives de sculptures polychromes de la fin du Moyen Âge : de l'identification des matériaux et de leur dégradation aux traitements de conservation..

Non-invasive physicochemical analysis of polychrome sculptures from the late Middle Ages: from the identification of materials and their degradation to conservation treatments.

— Sophie CHAMPAVOINE¹ — Pauline MARTINETTO² —
Pierre BORDET² — Frédéric FABRE¹ — Florence LELONG¹ —
Ariane PINTO^{1,2} — Victor POLINE²

Mots-clés : instrument mobile, rayons X, statues

polychromées, «brocarts appliqués», conservation

Auteur correspondant : pauline.martinetto@neel.cnrs.fr

Dans le cadre d'un programme de recherche interdisciplinaire porté par l'université Grenoble Alpes (projet Patrimalp, IDEX UGA, 2018–2025), nous nous sommes intéressés à des décors en léger relief, appelés «brocarts appliqués», utilisés pour imiter les textiles précieux portés par la noblesse durant l'époque médiévale. Sa complexité technique, associant de nombreux matériaux, en fait l'un des décors les plus sophistiqués de la fin du Moyen Âge. Le relief est obtenu par le pressage d'une feuille d'étain dans un moule préalablement gravé du motif décoratif.

¹ARC Nucléart, CEA, Grenoble, France / ²Université Grenoble Alpes, CNRS, institut Néel, Grenoble, France.

Cette feuille, renforcée d'une matière de remplissage, est ensuite presque systématiquement dorée et rehaussée de glacis colorés.

Pour analyser d'un point de vue physico-chimique ces décors, nous avons développé une approche basée sur des mesures non invasives de fluorescence (XRF) et de diffraction des rayons X sur poudre (XRPD), réalisées à l'aide d'un instrument mobile, MobiDiff. Ces mesures permettent d'affiner la stratigraphie des différentes couches et de guider éventuellement les zones où il est pertinent de prélever des micro-fragments ; ces derniers peuvent ensuite être caractérisés par des techniques d'imagerie synchrotron ou préparés en coupe transverse pour des analyses par microscopie optique, électronique et spectroscopie infra-rouge.

Nous montrerons dans cette présentation l'intérêt de réaliser, au sein d'un même instrument, des mesures conjointes XRF/XRPD. La combinaison de ces deux techniques d'analyse élémentaire et structurale permet d'identifier plus facilement les matériaux et leurs produits de dégradation, de quantifier les mélanges et, dans certains cas, d'évaluer des épaisseurs de couches. Nous présenterons l'instrument MobiDiff, conçu et réalisé à l'institut Néel, en étroite collaboration avec le LAMS, auteur d'un premier prototype, DiffiX, dernière version d'un instrument développé et optimisé au cours des dix dernières années, et déjà utilisé pour caractériser de nombreuses surfaces artistiques colorées et peintes. MobiDiff comporte deux sources de rayons X (tubes avec anode de cuivre et de palladium) et trois détecteurs permettant de collecter à la fois les rayons X diffractés (détecteurs 2D et linéaire) et de fluorescence. La collecte des données de diffraction exigeant de respecter des critères géométriques stricts (géométrie fixe entre la source, la surface analysée et les détecteurs), la taille de l'instrument et les possibilités de positionnement ont été optimisées pour permettre des mesures sur des objets en volume de formes complexes.

Nous présenterons les résultats obtenus sur les « brocarts appliqués » de plusieurs sculptures en bois polychrome produites dans les anciens États de Savoie à la fin du Moyen Âge. Ils révèlent l'existence d'un savoir-faire exceptionnel des artistes dans l'association de pigments, de métaux et de multiples matériaux organiques pour la décoration de ces sculptures. Ces métaux, qui peuvent être l'étain, l'argent, l'or, ont été déposés sous la forme de feuilles et ont subi, pour ceux oxydables, des altérations complexes. La complémentarité des techniques analytiques a permis une description plus fine des échantillons anciens :

- les feuilles d'étain sont entièrement oxydées et ne montrent plus aucune présence d'étain métallique ;
- elles sont systématiquement dégradées en un mélange de deux oxydes d'étain, la cassitérite (SnO_2), l'oxyde d'étain le plus stable, et la romarchite (SnO), phase métastable et intermédiaire dans le processus de formation de la cassitérite ;
- en ce qui concerne la dégradation des dorures contenant de l'argent, la corrosion se traduit par la présence de chlorargyrite (AgCl), qui peut être à l'origine d'un décollement de la feuille dorée.

La corrosion atmosphérique semble donc être le principal facteur de dégradation des feuilles métalliques constituant le «brocart appliqué», indépendamment des matériaux qui l'environnent et des conditions de conservation des œuvres.

Une des sculptures en bois polychromé du groupe étudié, (*Saint Jean-Baptiste*, inv. 2012.5359.1) a fait l'objet d'un dégagement de polychromie, dans le cadre du chantier des collections, pour la réouverture du Musée savoisien de Chambéry. Nous verrons comment l'identification précise des produits de dégradation de ses « brocarts appliqués », a permis d'aider au choix des méthodes et produits à employer au cours de la restauration. Un protocole de tests a été réalisé pour contribuer au choix de l'adhésif de fixage le plus approprié et respectueux des matériaux en présence.

Grâce à cette étude, de nouvelles informations ont donc été obtenues à la fois sur les savoir-faire anciens, les matériaux constitutifs des « brocarts appliqués » et leur dégradation. Ces informations permettent de réfléchir à l'organisation des ateliers de sculpteurs et à la diffusion des connaissances et pratiques à travers le duché de Savoie aux XV^e et XVI^e siècles mais également aux protocoles de conservation de ces décors.

Remerciements : Cette étude a bénéficié d'une aide de l'Etat gérée par l'Agence nationale de la recherche (ANR) au titre du programme d'investissements d'avenir portant la référence ANR-15-IDEX-02 (Cross Disciplinary Program IDEX UGA Patrimalp), ainsi que de l'aide de la Fondation de la Maison de la Chimie.



Analyse de la polychromie d'une sculpture médiévale (*Saint Jean-Baptiste*, début XVI^e siècle, Musée Savoisien, Chambéry, n° inventaire 2012.5359.1, avant traitement) à l'aide de l'instrument mobile MobiDiff ©Pierre Bordet, Institut Néel

PRÉSENTÉ PAR :

Sophie CHAMPDAVOINE est conservatrice-restauratrice, diplômée en 2001, de l'École supérieure des beaux-arts de Tours (ESBAT-Tours) en Conservation-restauration des œuvres sculptées. En continuité de son mémoire, elle s'oriente vers les études et la conservation-restauration des bois polychromés.

En 2003, elle rejoint l'équipe d'ARC-Nucléart et contribue à la création du pôle Sculpture. Au sein d'une équipe pluridisciplinaire, elle réalise et coordonne de nombreux projets de restauration, encadre des étudiants et prend part aux recherches menées par l'atelier dans le domaine de la caractérisation et du comportement des matériaux. Elle a participé à l'organisation du colloque consacré aux « brocarts appliqués » de Savoie en 2015 et aux prémices du projet Patrimalp (Cross-disciplinary Program, IDEX UGA).



Pauline Martinetto est physicienne des matériaux, enseignante-rechercheuse à l'université Grenoble Alpes au sein de l'institut Néel (CNRS-UGA, Grenoble). Ses projets de recherche consistent à faire évoluer les techniques analytiques utilisant les rayons X, ainsi que les traitements de données associés afin de les rendre plus pertinents et adaptés à l'étude des matériaux anciens et patrimoniaux. Récemment, dans le cadre de programmes interdisciplinaires à l'interface entre physique, archéologie et histoire de l'art et des techniques (Cross-disciplinary Program Patrimalp, IDEX UGA), elle a participé au développement d'instruments mobiles pour l'analyse non invasive d'objets et œuvres d'art.



POSTERS

Evaluation of a cleaning method for the conservation treatment of the canvas painting *Vampire* (E. Munch, 1893) using Hirox 3D imaging.

Evaluation d'un protocole de nettoyage pour la restauration de la peinture sur toile *Vampire* (E. Munch, 1893) grâce à l'imagerie 3D Hirox.

— Beatrice G. BORACCHI^{1,2} — Eva STOREVIK TVEIT² —
Terje SYVERSEN³ — Inger GRIMSTAD² — Marie Cathrine Mustad²
— Irina CA Sandu²

Keywords: 3D imaging, cleaning test, Munch

Corresponding author: beatrice.boracchi@kikirpa.be

In 2023, seventy years after the first conservation campaign, Munch's painting *Vampire* (1893) underwent a new conservation treatment performed at MUNCH. Due to the painting's fragile structure and long history of conservation interventions, the cleaning methods chosen to remove the non-original varnish layers have been carefully evaluated. This poster highlights the advantages of using a Hirox 3D microscope to assess the efficacy and compatibility of one of the tested cleaning methods.

Preliminary cleaning tests were performed using the Nanorestore Cleaning® systems and evaluated on five areas of 2cm x 1cm. The topography of the tested areas was examined before and after treatment with Hirox 3D microscope, utilizing both polarized and non-polarized lenses. Post-processing of the images enabled a detailed assessment of the impact

¹ KIK-IRPA, Royal institute for cultural heritage, Bruxelles, Belgium . / ² Munchmuseet, Oslo, Norway . / ³ The City of Oslo Art Collection, Oslo, Norway.

of cleaning on the surface structure of both the paint and varnish layers. This detailed visual analysis of the painting's topography supported in making an informed decision when choosing a cleaning procedure. While the paint surface appeared more homogeneous to the naked eye after treatment, closer inspection through Hirox 3D surface reconstruction revealed residues of the varnish layers that had not been completely removed. The result was a more hazed appearance in the treated areas and is symptomatic of a non-complete removal of the targeted varnish.

The combined evaluation method, incorporating visual observation, conservator expertise, and Hirox 3D imaging, proved to be an effective assessment tool. The 3D imaging provided detailed, high-resolution images of intricate surface features, enabling a clear visual comparison of the cleaning procedure's efficiency and impact.

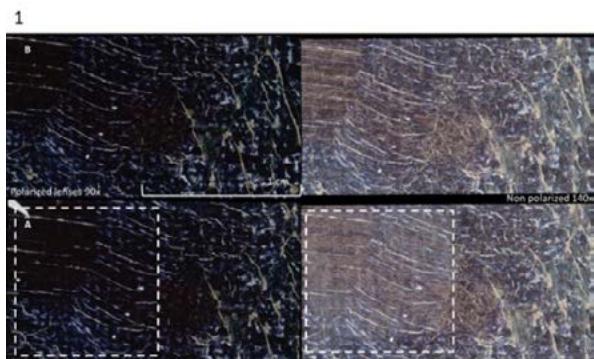


Figure 1.1. Hirox 3D images of one of the investigated areas. Left side represents the before (top) and after (bottom) treatment investigated with 90x polarized lenses, right side with the 140x non polarized lenses. Dotted squares mark the treated portion of the area.

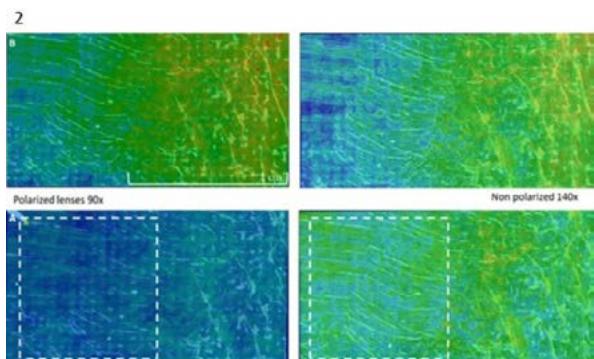


Figure 1.2. False color altimetry maps elaboration of Hirox 3D images. Blue represents lowest point and red the highest point. Left side shows the before (top) and after (bottom) treatment investigated with 90x polarized lenses, right side with the 140x non polarized lenses. Dotted squares mark the treated portion of the area.

PRESENTED BY:

Eva STOREVIK TVEIT is a senior Paintings Conservator and the discipline adviser for the section of Paintings conservation at the MUNCH. She gained her MA in 2011 on the subject of Edvard Munch's Aula decorations and porous paints from the university of Oslo. Her primary interest is questions regarding how innovation and interdisciplinary research may develop preventive methods to reduce the damage and degradation of art. She is also currently dedicated to making the value of conservation more visible among the communities and highlights ethics in conservation. Her research has mainly focused on Edvard Munch's art. She has published numerous papers in books and periodicals.

La corrélation d'image (DIC) : un outil de suivi mécanique des toiles peintes. Usage pour le suivi des traitements de conservation-restauration et pour la caractérisation d'une œuvre.

Image correlation (DIC): a tool for mechanical monitoring of canvas paintings. Use for restoration treatments monitoring and for work of art characterization

— Marie-Laure GASCON¹ — Julien COLMAR² —
Sandie LE CONTE³.

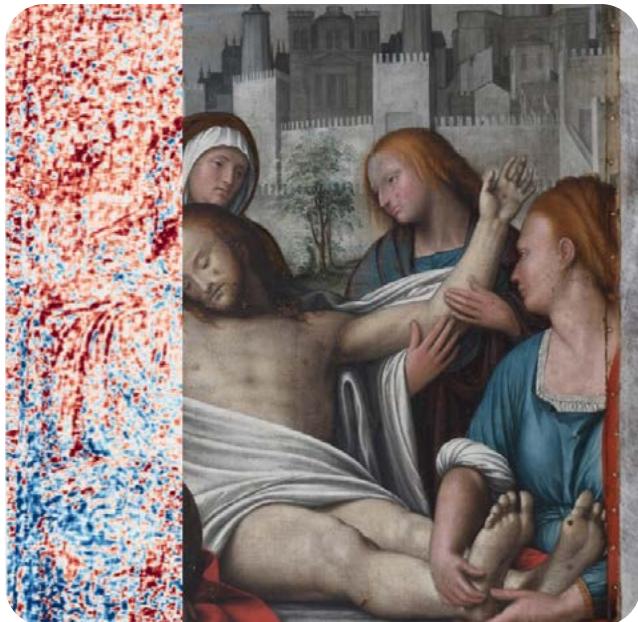
Mots-clefs : DIC, corrélation images, toile peinte

Autrice correspondante : ml.gascon.cr@gmail.com

Comment la corrélation d'image ou DIC (pour « Digital Image Correlation ») peut-elle être un outil permettant le suivi mécanique des traitements du support toile, mais permettant également l'étude du comportement mécanique des toiles peintes ?

L'étude et la conservation-restauration d'une *Déploration du Christ*, peinture sur toile du XVI^e siècle conservée au Palais des Beaux-Arts de Lille, a été l'occasion de s'intéresser à l'impact mécanique des interventions de conservation-restauration. En effet, dans la proposition de traitement, il a été décidé de déposer la toile du châssis. Le remontage de l'œuvre sur son châssis a donc nécessité l'ajout de bandes de tension. Plusieurs

¹ Ateliers Gascon, Créteil, France. / ² Laboratoire de mécanique des contacts et des structures (LaMCoS), UMR5259 CNRS, INSA Lyon, France. / ³ Institut national du patrimoine (InP), Paris, France



Photographie en cours de traitement de restauration de *Déploration du Christ*, anonyme, milieu XVI^e siècle, peinture sur toile, Palais des Beaux-Arts de Lille. Sur la partie gauche, une cartographie des contraintes (« strain x, y ») superpose la photographie.

interrogations se présentaient alors : quel textile serait le plus approprié ? Quel serait leur impact mécanique sur l'œuvre ? Comment comparer ces différents textiles ? C'est en voulant répondre à ces questions que la DIC a été mise en œuvre.

La DIC est un outil de comparaison d'images qui consiste à superposer des photos, prises à différents états de chargement mécanique, et à mesurer le champ de déplacement de la surface de l'objet. Après calcul, des cartographies de déformation sont obtenues, elles permettent de choisir objectivement le traitement le plus adapté : c'est-à-dire celui qui offrira le résultat le plus homogène. Ainsi, il modifiera le moins possible le comportement mécanique de l'objet.

Suite aux résultats de notre étude sur échantillons afin de choisir la technique de restauration appropriée, nous avons

décidé d'aller plus loin en appliquant ce suivi mécanique, via la DIC, sur l'œuvre elle-même. Des prises de vue ont été réalisées lors de la mise en extension de l'œuvre sur un bâti de travail, dans le cadre des traitements de conservation-restauration. Ces photographies ont pu être traitées dans le logiciel de corrélation d'image et nous avons pu obtenir des cartographies des déplacements et des déformations de l'œuvre, avec ses bandes de tension. Ainsi, nous avons pu caractériser, dans une certaine mesure, le comportement mécanique de cette toile peinte, grâce à cette méthode de suivi.

La DIC est un outil déjà utilisé pour le suivi mécanique d'œuvres textiles. Nous trouvons intéressant et prometteur d'élargir le champ d'application de cet outil aux toiles peintes, domaine où les problématiques mécaniques sont également bien présentes.

PRÉSENTÉ PAR :



Marie-Laure GASCON, conservatrice-restauratrice de peintures, a établi son entreprise individuelle après l'obtention de son Master à l'Institut National du Patrimoine (InP) en septembre 2024. Son activité indépendante se concentre sur les études, diagnostics et traitements de conservation-restauration de peintures de chevalet et murales. Lors de son mémoire de fin d'étude, elle s'est

particulièrement intéressée à l'application de la Corrélation d'Image Numérique (DIC) pour le suivi mécanique des interventions sur les toiles peintes. Ces travaux de recherche ont été présentés lors d'une conférence internationale, « Mechanicals Insights », au Getty Center en novembre 2024.

Suivi environnemental et non destructif des matériaux du patrimoine pour prédire l'impact du changement climatique sur leur altération.

Environmental and non-destructive monitoring of heritage materials to predict the impact of climate change on their deterioration.

— Adèle CORMIER¹ — Fabrice SURMA² — Martin LABOURÉ² —
Jean-Marc VALLET³ — Odile GUILLON³ — Nistor GROZAVU¹—
Ann BOURGÈS⁴

Mots-clefs : suivi climatique, diagnostic d'altération,
conservation préventive, intelligence artificielle

Autrice correspondante : adele.cormier@etu.
chimieparistech.psl.eu

L'intensification des variations climatiques réduit la durée de vie des monuments (convention du patrimoine mondial de l'UNESCO 2013), et aujourd'hui, l'impact du changement climatique est une problématique majeure pour le patrimoine (Rowland, 1996). De nombreuses études ont été réalisées (Sesana *et al.*, 2021) démontrant la nécessité de quantifier les effets des altérations liées aux variations climatiques. Cela nécessite un suivi à la fois de l'état des matériaux et de leurs conditions de conservation.

¹ ETIS (UMR8051), CYU Cergy Paris–Université, ENSEA, CNRS Sciences Informatiques, France / ² EPITOPOS, Strasbourg, France / ³ Centre interdisciplinaire de conservation et de restauration du patrimoine (CICRP), Marseille, France / ⁴ Centre de recherche et de restauration des musées de France (C2RMF), Palais du Louvre, Paris, France

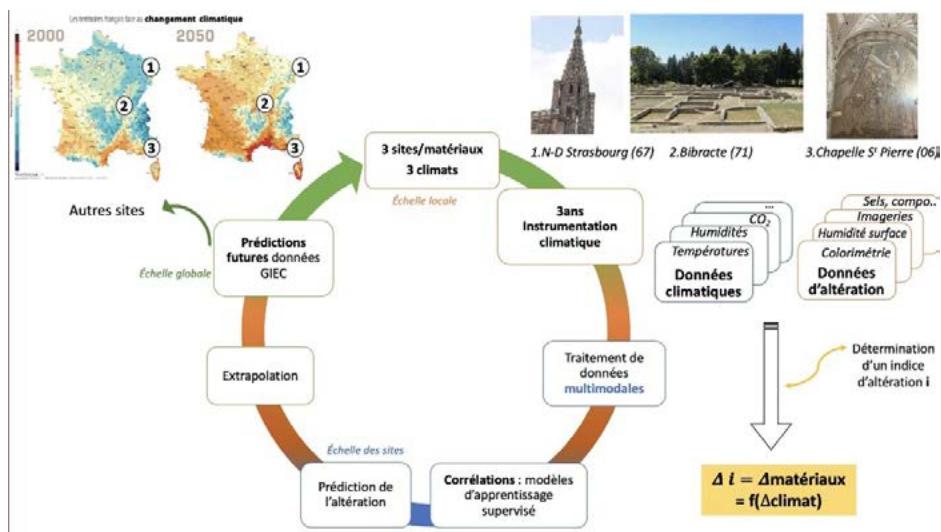
Pour cela, le projet de recherche COLISEUM (corrélation des données du changement climatique avec le comportement des matériaux du patrimoine) propose une méthodologie de suivi climatique non destructif *in situ* afin de réussir à prédire ce comportement. L'utilisation d'analyses sur site non destructives est impérative pour un suivi à long terme de l'altération. De nombreuses données de différentes formes (ou modalités) sont ainsi collectées sur trois sites culturels en France pendant 3 ans : la flèche de la cathédrale Notre-Dame de Strasbourg, le site archéologique de Bibracte, la chapelle Saint-Pierre à Villefranche-sur-Mer, peinte par Jean Cocteau.

Chaque site a un climat différent, des matériaux spécifiques et des modes d'évolution différents selon les prévisions du GIEC (6ème rapport d'évaluation). Tout d'abord, un premier diagnostic d'état de chaque site (historique, climatique, type de matériaux) est effectué. *In situ*, des capteurs microclimatiques enregistrent en continu les variations de la température, de l'humidité et des paramètres de la maçonnerie au fil du temps. Les évolutions sont suivies à intervalles réguliers (3 à 6 mois) au moyen d'analyses non destructives d'humidité de surface, de colorimétrie, d'analyses en laboratoires et de campagnes d'imagerie scientifique (infrarouge, UV, lumière rasante).

Afin de corrélérer les résultats des différents sites de surveillance, des lots identiques de matériaux témoins sont installés et suivis dans le temps. A plus grande échelle, des données climatiques satellitaires seront intégrées dans les modèles. La question du traitement des données multimodales à différentes échelles sera abordée avec l'élaboration de modèles d'intelligence artificielle par apprentissage supervisé.

À terme, les modèles de prévision permettront de prédire les comportements futurs des matériaux en utilisant les données connues des différents scénarios de changement climatique du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat).

Finalement, le projet COLISEUM propose une méthodologie de suivi climatique non destructif et innovant pour suivre l'altération des matériaux du patrimoine in situ. Les données collectées sont réutilisées dans des modèles d'intelligence artificielle pour prédire les évolutions de l'altération et anticiper les campagnes de restauration conservation.



Organisation du projet COLISEUM

PRÉSENTÉ PAR :



Adèle CORMIER, doctorante en 3^e année, est ingénierie AgroParisTech et ChimieParisTech (ENSCP). Après un stage au sein de l'unité de recherche du CNRS de Lyon 1 portant sur l'optimisation d'un algorithme de réseau de neurones dédié à la caractérisation des mortiers de chaux archéologiques par LIBS-MS

pour la datation, elle réalise un stage de six mois au sein du laboratoire d'analyses et d'expertise en matériaux du patrimoine EPITOPOS menant à son sujet de thèse. Ce sujet rattaché à l'école doctorale de Cergy porte sur l'étude de l'influence du changement climatique sur les matériaux du patrimoine par l'utilisation d'algorithmes d'apprentissages supervisés.

In situ measurement of water absorption: a toolbox for an insight in stone material.

Measure *in situ* de l'absorption d'eau : une boîte à outil pour mieux comprendre les matériaux pierre.

— Delphine VANDEVOORDE¹

Keywords: non-destructive tests, water absorption, contact sponge method, karsten tube, droplet method

Corresponding author: vandevoordedelphine@yahoo.co.uk

As water is a key element in most degradation processes, water absorption by a stone material is of significant importance for its conservation and it will be a decisive factor for its durability (Pien, 1991). The water absorbing behaviour can provide information on the stones conservation state, as it reflects the internal (pore)structure of the material, as well as alterations in this structure, due to weathering or treatments in the past (Svahn, 2006).

In previous research by the author different non-destructive field tests for evaluation of the water absorption were intensively tested and compared to laboratory techniques. The outcome of this research was a combination of different compatible tests, namely the contact sponge method, the Karsten tube and two procedures of the droplet method. The combination of these tests allows the measurement from surface to bulk of lithotypes with varying degrees of capillary absorption.

¹ Rephine Stoneworks, Mariakerke, Belgium

Furthermore, all methods are cheap, quick and relatively easy to handle.

The knowledge obtained by the research has been applied in the last ten years in the field of stone and (historic) building restoration, where often time and financial means are lacking to allow elaborate testing. The in situ and non-destructive testing of the water absorbing behaviour has allowed to distinguish the degree of weathering, the presence of old treatments, the compatibility of mortar additions, where this knowledge was crucial to determine the conservation state and select an adequate restoration technique. This poster will give a brief overview of the different techniques and an illustration of the possibilities of the methods applied in the field.



Contact sponge test in situ
on a sculpture in the Western
Cemetery in Ghent

PRESENTED BY:



Delphine VANDEVOORDE obtained a Master in conservation and restoration of stone in 2006 in Antwerp, Belgium. Since graduation, she works as a stone restorer independently and for a building restoration contractor, where she advises and restorers all specialized stone materials (sculptures, façades, stucco, mosaic..). In the last years, she has conducted architectural and material-technical preliminary investigations of historic buildings. After obtaining her degree, she focused on the study of non-destructive methods for measuring the water absorption of stone in situ and she applies this knowledge daily in the field. In 2015 she became expert member of the ICOMOS International Scientific Committee for Stone.

Perspectives de l'analyse spectrale dans la conservation des néons.

Perspectives of spectral analysis for the conservation of neons.

— Benjamin LEBLANC¹ — Laure VIDAL²

Mots-clés : néons, mercure, colorimétrie, spectrométrie

Autrice correspondante : benjamin.leblanc@viaomics.fr

Élément emblématique des univers urbains du XX^e siècle et utilisé par de nombreux artistes, le néon est un dispositif lumineux dont la documentation et la restauration soulèvent des problèmes méthodologiques importants, pour la préservation des collections d'art contemporain et du patrimoine populaire. En effet, la constitution d'un néon exige de faire appel à des méthodes non-invasives. Par ailleurs, l'évolution des normes de sécurité et environnementales tend à bannir l'usage du mercure couramment employé dans les néons.

Reposant sur le principe des lampes à décharge, ce dispositif est constitué d'un tube de verre rempli de gaz, et scellé avec une électrode à chaque extrémité. Lorsqu'il est sous tension, le néon émet une lumière dont la couleur dépend de la nature du mélange gazeux. Mais pour un même mélange, la couleur apparente diffère selon que le tube de verre est enduit d'un revêtement phosphorescent, teinté dans la masse ou recouvert d'un film coloré. Dans la durée, les éléments constitutifs d'un néon sont sujets au vieillissement, même à l'intérieur du tube où des réactions complexes altèrent lentement la lumière produite.

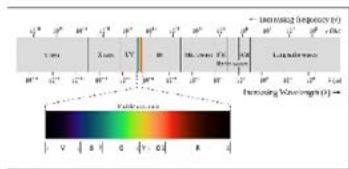
¹ VIAOMICS, Alès, France. / ² SCOP Mine de Talents, Alès, France.

Plusieurs études récentes ont montré l'intérêt des mesures spectrales pour la conservation des néons. En effet, la composition initiale du mélange gazeux et les additifs utilisés lors de la fabrication ne sont pas toujours documentés, ou ont été formulés selon un procédé artisanal ou industriel qui a disparu. Réalisable *in situ*, la mesure du spectre d'émission d'un néon sous tension permet d'identifier le gaz principal, de détecter la présence d'un enduit phosphorescent et de documenter l'altération du dispositif lumineux avec le temps. Cependant, l'interprétation des spectres mesurés reste un facteur limitant dans cette avancée méthodologique.

Employée de manière transversale en sciences comme dans les procédés industriels, la spectrométrie permet d'étudier une vaste gamme de phénomènes physico-chimiques. Ces nombreux domaines d'application offrent des développements potentiellement intéressants pour notre problématique, par exemple en astronomie dans les méthodes d'analyse de la composition des corps célestes, ou encore dans l'étude et la modélisation des plasmas.

Nous proposons d'identifier des approches expérimentales et analytiques, transférables à la conservation des néons, avec une démarche prenant en compte la faisabilité et l'utilité concrète de telles approches pour les professionnels de la conservation-restauration. Nous avons recensé plusieurs méthodes permettant de compléter la mesure du spectre lumineux du néon sous tension par différentes mesures de spectre hors tension, aussi bien en absorption qu'en émission, au moyen de différentes sources. Utilisée conjointement à des méthodes d'analyse de données avancées, la combinaison de ces techniques de spectrométrie pourrait faciliter la distinction des propriétés spécifiques de chaque constituant du néon.

Ce projet vise à développer une approche permettant d'automatiser l'identification des éléments constitutifs des néons à partir de mesures réalisées *in situ*. Une application clé sera la détection du mercure dans les collections existantes. Plus largement, cette démarche contribuera à produire des données objectives facilitant une réfection fidèle des néons dans les situations où leur remplacement est souhaitable.



<https://www.eureca.de/1911-1-Spectroscopy-on-Neon-Lamps.html>

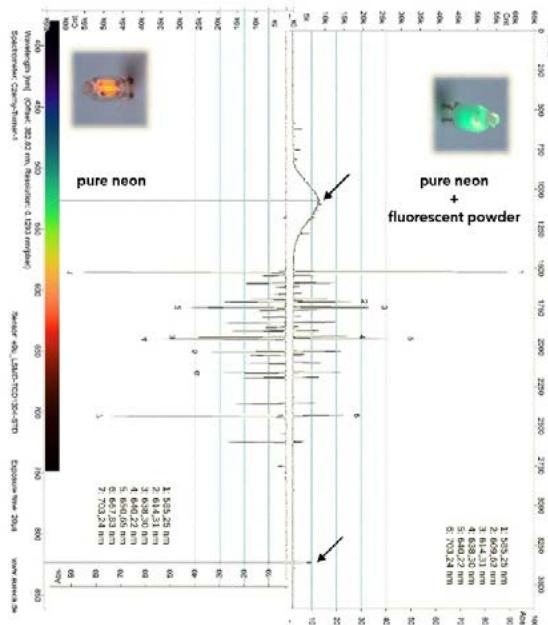
Types of Atomic & Molecular Transitions

- Transitions between atomic shells
- Atomic coherent electron
- Unbound atoms (ion sources)
- Vibrational transitions
- Rotational transitions
- Infrared (IR), visible, ultraviolet
- Atomic nuclear excitation
- Radio active nuclear state

David Lancy - Analytic Chem Day '13: Overview of Spot Spectroscopy

Observations

- Les plus d'émission du néon restent clairement identifiables en présence du matériau fluorescent
- Le plus d'absorption d'émission sont au moins partiellement absorbés par le matériau fluorescent (matériaux moins bons)
- La matrice fluorescent donne un spectre lumineux quasi-continu et facile à identifier, contrôlé sur le couleur dont reste avec présence de pixels faibles
- Un profondeur se appelle dans l'imagerie ($\text{m}^2/\text{sr} \cdot \text{nm}$)



<https://www.eureca.de/1911-1-Spectroscopy-on-Neon-Lamps.html>

Spectrométrie des néons

PRÉSENTÉ PAR :



Benjamin LEBLANC est un chercheur spécialisé en bio-informatique et en science des données. Après un parcours doctoral et postdoctoral en biologie moléculaire, dans les domaines de l'épigénétique et de la génomique fonctionnelle, il a fondé VIAOMICS, une entreprise dédiée à l'analyse de données pour la recherche scientifique. Son intérêt pour les problématiques interdisciplinaires, combiné à son expérience en microscopie à fluorescence et en spectrométrie, l'a conduit à collaborer avec une spécialiste de la conservation-restauration sur l'étude des « néons ». Dans ce projet, il explore et adapte des approches analytiques issues d'autres disciplines scientifiques afin d'améliorer la documentation et la préservation de ces œuvres lumineuses.

Etude scientifique et diagnostic artistique de l'ensemble mural de Saint-Jean de Caselles, en Andorre.

Scientific study and artistic diagnosis of the mural complex of Saint-Jean de Caselles, in Andorra.

— Lluís SEGURA¹ et² — Mireia TARRÉS² — Mireia VIDAL²

Mots-cléfs : diagnostic, non-invasif, préservation, roman

Autrice correspondante : lluis_segura@govern.ad

L'ensemble mural de l'église de Saint-Jean de Caselles est l'une des œuvres majeures de l'art roman andorran. Il s'agit d'une majesté romane en stuc du XII^e siècle entourée d'une peinture murale à fresque représentant Longin et Stefanon dans la partie inférieure (deux personnages légendaires liés à la crucifixion), accompagnés du Soleil et de la Lune dans la partie supérieure. Cet ensemble pictural et sculptural, unique dans les Pyrénées, a été découvert et restauré en 1963 et constitue aujourd'hui l'un des témoignages artistiques les plus anciens conservés *in situ* en Andorre.

Depuis sa restauration, l'ensemble mural a suscité l'intérêt de nombreux spécialistes, tant en conservation-restauration que dans d'autres domaines liés au patrimoine culturel, dans le but de l'étudier en profondeur et de tenter de comprendre son histoire matérielle. Cependant, ce n'est que ces dernières années que de grands progrès ont été réalisés dans la connaissance

¹ Université polytechnique de Valence (UPV), école doctorale, programme de doctorat en conservation et restauration des biens culturels. / ² Département du patrimoine culturel, ministère de la culture, de la jeunesse et des sports, gouvernement d'Andorre.

L'ensemble mural de l'église de Saint-Jean de Caselles



et la compréhension de cette œuvre, en partie grâce à l'apparition d'instruments portables pour l'analyse *in situ* ou à l'intégration des technologies numériques dans le domaine du patrimoine.

Étant donné son importance, son étude a toujours cherché à préserver au maximum son intégrité, en réduisant autant que possible le prélèvement de microéchantillons et en priorisant l'utilisation de méthodologies d'examen avancées et non invasives. De cette manière, grâce aux techniques d'analyse d'image, à la photogrammétrie et à la fluorescence des rayons X (FRX), ainsi qu'au système d'identification le plus courant qu'est l'examen visuel et microscopique, il a été possible de documenter, enregistrer, mesurer et évaluer de manière exhaustive l'ensemble de l'œuvre.

D'autre part, ce minutieux travail d'observation et d'analyse a également été soutenu par les données historico-artistiques fournies à la fois par l'œuvre et par le monument. Ainsi, l'étude de la documentation écrite et graphique, non seulement de

l'ensemble mural mais aussi de l'église, est devenue un complément indispensable pour déterminer les transformations subies au cours de ses sept siècles d'existence et qui ont, sans aucun doute, influencé spécifiquement son état actuel.

Les informations obtenues par les différentes études sont devenues un outil de travail essentiel, car elles ont permis d'approfondir la connaissance de la technique et des procédés utilisés dans la réalisation de l'œuvre, avec une description très complète des pigments, du chromatisme, des tonalités de la peinture, de ses procédés d'exécution ou de son état de conservation. Il est évident que l'intégration des études scientifiques de laboratoire dans la recherche globale de l'ensemble mural a représenté un progrès qualitatif dans la recherche historique de l'œuvre. En effet, toutes ces informations fournissent des réponses et des éléments de jugement qui contribuent à la conserver, la préserver et la valoriser de manière correcte. Enfin, les résultats montrent également qu'en utilisant des techniques non invasives, il est possible d'obtenir une documentation de qualité tant du point de vue qualitatif que quantitatif.

PRÉSENTÉ PAR :



Lluís Segura débute dans le domaine de la conservation-restauration en 2001 en tant que restaurateur d'objets en pierre. En 2005, il travaille pour l'atelier andorran de restauration d'œuvres d'art, Retoc. Il intègre, en 2019,

l'équipe de conservation-restauration de biens mobiliers au Département du patrimoine culturel d'Andorre. Depuis 2023, il effectue un doctorat en conservation-restauration à l'université polytechnique de Valence (UPV).

Méthodes d'analyses mises en jeu pour la détection du mercure et de l'arsenic dans les collections textiles et accessoires du Palais Galliera.

Analytical methods used for detecting mercury and arsenic in the textile and accessory collections of the Palais Galliera.

— Lisa-Charlotte LARDEAU¹ — Camille LALLEMAND² —
Michel BOUCHARD³

Mots-clés : mercure, arsenic, textiles, papier, spectroscopie de fluorescence X

Autrice correspondante : lisacharlotte.lardeau@gmail.com

Débuté il y a 4 ans, Camille Lallemand, conservatrice-restauratrice au Palais Galliera, en collaboration avec Lisa-Charlotte Lardeau, conservatrice-restauratrice au musée des Tissus et des Arts décoratifs de Lyon, ont mené un projet de recherche sur la présence de mercure et d'arsenic au sein des collections textiles et accessoires du Palais Galliera en envisageant les risques engendrés sur le personnel.

L'arsenic (As) est connu pour avoir été utilisé en tant que pigment pour obtenir des verts très vifs, mais aussi sous forme de savon arsenical pour la naturalisation d'animaux (dans notre cas des oiseaux) et dans une moindre mesure, en tant

¹ Musée des Tissus et des Arts Décoratifs, Lyon, France. / ² Conservatrice-restauratrice d'objets en cuir et en papier, Quimper, France. / ³ Centre d'analyses et de recherche en art et archéologie (CARAA), Le Kremlin-Bicêtre, France

que pesticide sur des matériaux sensibles aux attaques de nuisible. Quant au mercure (Hg), il a été utilisé sous forme de sels pour favoriser le feutrage de poils d'animaux dans la fabrication de chapeaux.

Après avoir étudié la toxicologie de l'arsenic et du mercure, nous nous sommes questionnées sur le nombre, l'époque et la typologie d'objets potentiellement contaminés et le niveau de risque que cela présente pour le personnel du musée.

Pour ce faire, nous avons établi un corpus basé sur des recherches historiques, de plus de 260 œuvres du Palais Galliera sur support textile et papier datés de la fin du XVIII^e siècle jusque dans les années 1960. C'est un corpus hétérogène constitué de costumes, d'éventails, de chapeaux, de chaussures, de sacs, de boîtes, de gants, d'estampes, etc., sur une chronologie étendue.

Afin de vérifier la présence de produits toxiques dans ce corpus, nous nous sommes interrogées sur les méthodes d'analyses existantes afin de déterminer laquelle serait la plus adaptée par rapport à notre typologie d'objet et à leur nombre.

Nous avons, dans un premier temps, testé une méthode de détection de l'arsenic par spot-test. Cela consistait à verser un échantillon dans un tube à essai avec des réactifs appropriés. En présence d'arsenic, un gaz, l'arsine se forme. La présence d'une bandelette qui se colore du jaune clair au marron foncé permet de visualiser la réactivité de ce gaz. Facile à mettre en œuvre et peu coûteux, il n'a cependant pas été retenu car il nécessite de faire un prélèvement.

Un second test visait à vérifier la présence de vapeur de mercure sur une typologie d'objet clairement identifiée : des chapeaux en feutre de poil animal. Ce test consistait à déposer une poudre réactive autour d'un objet et de le confiner pendant sept jours. La présence de vapeurs de mercure se



Analyse XRF d'une couronne de fleur (GAL 2004.323.X) daté vers 1860 et conservée au musée du Palais Galliera.

traduit par une coloration de la poudre. Ce test a été mis en place avec succès dans les réserves du musée, sur environ quatre-vingts chapeaux haut-de-forme.

Pour le reste du corpus, nous avons choisi de réaliser les analyses par spectroscopie à fluorescence X portable (p-XRF) en collaboration avec le laboratoire CARAA. Cette technique a été privilégiée car elle est non invasive, rapide, peut être réalisée *in situ* et permet l'identification d'autres éléments chimiques que le mercure et l'arsenic.

Pendant et à l'issue de ces analyses, nous avons observé que certaines typologies d'œuvres se prêtaient mieux à l'analyse non-invasive par p-XRF. En effet, on constate dans les œuvres textiles, que la concentration de certains produits (par exemple l'arsenic) ainsi que la co-présence de certains éléments tels que le plomb (Pb) sont critiques et interpellent respectivement quant aux limites de détection (LOD) et aux résolutions spectrales de l'instrument de mesure. Ces analyses nous ont néanmoins permis de dégager un profil type

d'œuvres à risques et de confirmer ou infirmer nos hypothèses de départ.

D'autres analyses non invasives ont été menées, notamment afin de caractériser la structure moléculaire de l'arsenic sur certains objets testés positifs. Dans cette optique, des analyses complémentaires non-invasives par microscopie Raman ont été menées sur une sélection d'objets beaucoup plus restreinte. Là encore, nous présenterons les résultats obtenus ainsi que les limites de cette technique.

La phase finale de ce projet visait à communiquer au personnel les résultats de notre recherche. Cette communication s'est faite oralement avec des réunions d'équipe. Puis un travail conséquent de signalisation numérique sur la base de données a ensuite été réalisé par le service d'informatisation des collections. Enfin, une signalisation concrète sur ou autour des objets a été mise en place dans les réserves du musée.

PRÉSENTÉ PAR :



Lisa-Charlotte LARDEAU est conservatrice-restauratrice d'objets textiles, diplômée de l'Inp en 2020. Elle travaille depuis 2021 au musée des Tissus et des Arts Décoratifs de Lyon.

Bridging photography and metal conservation: the role of science and technology in the conservation of daguerreotypes.

Relier photographie et conservation des métaux : le rôle de la science et de la technologie dans la conservation des daguerréotypes

— Valentina LJUBIĆ TOBISCH¹ — Dieter INGERLE¹ —
Christina STRELI¹ — Klaudia HRADIL¹ — Wolfgang KAUTEK²

Keywords: daguerreotypes, metal conservation,

interdisciplinary collaboration, heritage science

Corresponding author: valentina.tobisch@tuwien.ac.at

Daguerreotypes, the earliest form of photography, pose unique conservation challenges due to their delicate nature and complex material composition. Typically produced on silver-plated copper sheets, these objects involve multiple metals that interact and corrode. Conventional cleaning methods intended to reduce varnish layers can unintentionally damage image particles, especially when no prior micro- or nanoscale analysis is conducted. Such treatments risk image fading, loss of contrast, or the removal of fragile particles. An interdisciplinary approach that combines historical research, technical expertise, and scientific analysis is therefore essential for their long-term preservation.

¹ TU Wien, X-Ray Centre, Vienna, Austria / ² University of Vienna, Institute of Physical Chemistry, Vienna, Austria

Non-invasive and contactless examination techniques are central to studying daguerreotypes' surfaces and corrosion processes. Within the Heritage Science project PHELETYPIA (Ljubić Tobisch & al., 2023) (Austrian Academy of Sciences), several methods were applied, including Z-scan light microscopy, Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM/EDX), and X-ray Fluorescence (XRF) (Ljubić Tobisch & al., 2024). The potential and findings of these techniques will be discussed, with emphasis on their relevance to conservation practice.

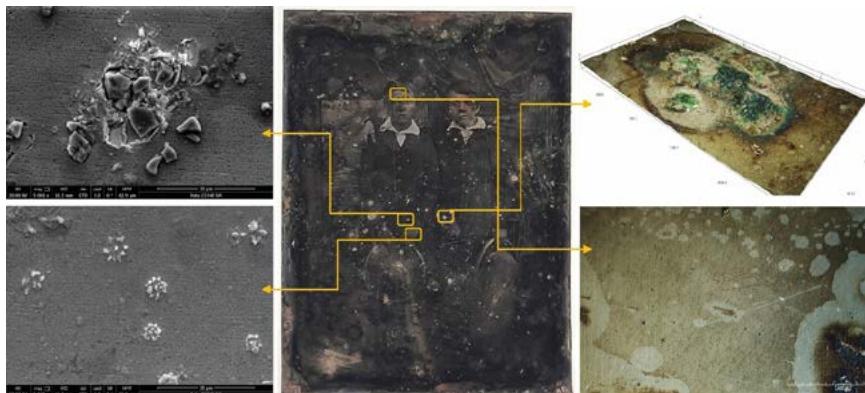
Because photographic conservators are often trained in paper conservation, close collaboration with metal conservators is crucial. The metal substrates of daguerreotypes are subject to corrosion processes distinct from paper-based materials. Understanding nanoscale electrochemical interactions between silver, copper, mercury, and gold is vital to develop sustainable conservation strategies. Heritage science contributes here by integrating methods from the natural sciences and humanities, fostering collaboration between scientists and conservators, and enabling the safe application of analytical techniques.

Beyond research, these methods support conservators in identifying damage patterns and in developing reliable treatment strategies. Their integration into conservation practice raises important questions: how can modern analytical techniques be effectively applied, and what perspectives do they open? Advanced methods significantly enrich heritage research in terms of interpretation, preservation, documentation, and management. Yet data alone is not enough: rather, a shared interpretation is required in order to make informed decisions. Stronger interdisciplinary cooperation is therefore key, enabling knowledge exchange and targeted support.

However, practical challenges remain. Non-invasive instruments are expensive, not widely available, and often require extensive planning, which is difficult under time

pressure. Selecting appropriate laboratory methods, assessing their advantages and limitations, and embedding their findings into conservation workflows require collective effort. Scientists and conservators must work together to establish standardized protocols and training programs that ensure effective use of these technologies.

This contribution highlights both the possibilities and the necessity of interdisciplinary collaboration in daguerreotype conservation. Scientific methods should not replace conservation expertise but complement it, adding value to decision-making processes. Ultimately, the preservation of daguerreotypes exemplifies the importance of combining historical insight, technical skills, and scientific analysis. Incorporating non-invasive examination techniques within this framework safeguards the physical integrity of daguerreotypes while enhancing our understanding of their materiality and the processes that affect their longevity.



Daguerreotype. Scanning electron microscope images of chloride and corrosion efflorescence (right), and light microscope images of efflorescence and corrosive surface discoloration. ca. 1845, Salzburg Museum.

PRESENTED BY:

Dr. Valentina LJUBIĆ TOBISCH is a conservator and heritage scientist specializing in metal conservation and restoration. She holds a PhD in Physical Chemistry (University of Vienna) and has extensive academic and museum experience, including leading the Conservation Department at the Technisches Museum Wien. Currently, she is principal investigator of the PHELETYPEIA project at TU Wien and lecturer at the University of Montenegro. Her research focuses on early photography, electrotyping, and sustainable conservation strategies. She has published widely, coordinated interdisciplinary projects, and received awards such as the TÜV Austria Science Award. Multilingual and collaborative, she bridges science and cultural heritage.

Hyperpico : une approche instrumentale et méthodologique avancée dédiée à la conservation préventive.

Hyperpico : an advanced instrumental and methodological approach dedicated to preventive conservation.

— Julie FROMAGER¹ — Stéphane SERFATY¹ — Vincent DETALLE²
— Loïc MARTINEZ¹ — Danilo FORLEO³

Mots-clés : conservation préventive, intégration multiéchelle, hyperspectrale, multimodale, CND

Autrice correspondante : julie.fromager@cyu.fr

Face au changement climatique, ainsi qu'à la nécessité d'une transition énergétique vers plus de soutenabilité, les outils de diagnostic de la conservation préventive, en particulier dans les résidences historiques et les collections exposées, deviennent limités. Les nouvelles conditions environnementales (hausse des températures, de l'humidité et des précipitations, aux variations imprévisibles et soudaines de forte amplitude) ne permettent plus de fonder la stratégie de conservation et de résilience d'une résidence historique sur la base unique de l'historique des mesures environnementales macroscopiques. En effet, les demeures historiques se retrouvent confrontées à une augmentation des altérations des collections et des décors, malgré les dispositifs de conservation importants mis en œuvre (contrôle du climat intérieur, protection des vitres par des filtres, plans de gestion des risques etc.), qui semblent corrélées à l'augmentation des événements climatiques atypiques.

¹Laboratoire SATIE, CY Cergy Paris-Université, Cergy-Pontoise, France. / ²CY Cergy Paris-Université, Equipex + Espadon, Cergy-Pontoise, France. / ³Etablissement du Château de Versailles, Versailles, France.

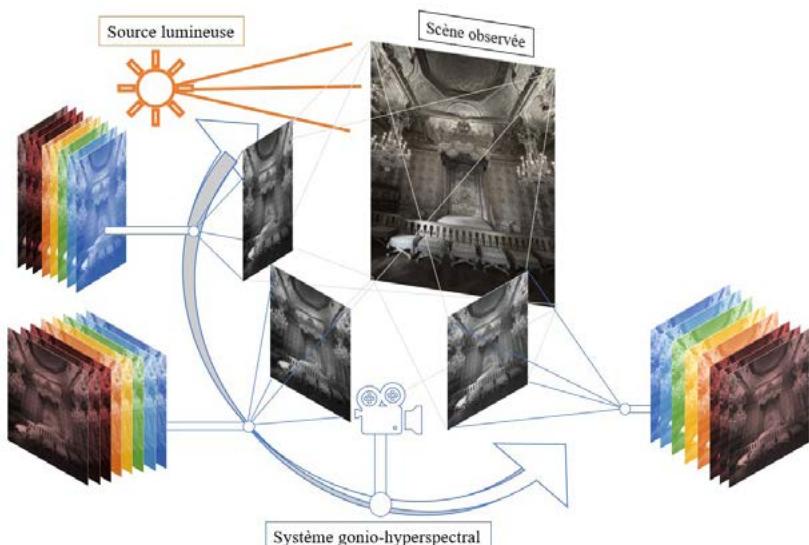
Compte tenu de la diversité des matériaux constitutifs des objets à suivre, de simples mesures de la température et d'humidité des pièces, d'ensoleillement ou de pollution environnementale ne suffisent pas. Il faut identifier les liens entre ces mesures environnementales et l'état de santé des objets *in situ*, dont il faut une connaissance complète et individuelle de l'évolution pour espérer comprendre les relations de cause à effet.

Dans ce contexte, le projet HypErPICO vise à mettre en œuvre des techniques inédites de mesures multidimensionnelles (spatiales et spectrales) *in situ*, et développer des outils de traitement de données pour enrichir les outils d'aide à la décision déjà en place. L'enjeu scientifique est d'établir une cartographie tridimensionnelle des caractéristiques physiques des espaces et des objets et d'en assurer leur suivi, de l'échelle moléculaire à l'échelle structurelle. Ces travaux visent à développer un nouveau système d'imagerie hyperspectrale associé à une reconstitution 3D afin d'identifier, à long terme, les seuils de transformation physico-chimique irréversibles des objets et des décors les constituant. Outre l'analyse multispectrale, l'analyse goniométrique suppose une localisation précise des objets dans l'espace afin d'en assurer un suivi sur des périodes longues (plusieurs années).

Deux pièces du château de Versailles, la Chambre de la Reine et le Salon de Mercure (choisies selon leur orientation et leur représentativité statistique) ainsi que les éléments mobiliers et de décors les composants sont étudiés à raison de quatre mesures saisonnières par an. L'objectif est d'identifier les différents objets et de classifier les matériaux composant le mobilier et les murs des pièces étudiées afin de pouvoir détecter tout changement au fil du temps et établir un diagnostic en corrélation avec les relevés des données capteurs (température, hygrométrie, etc.). En effet, les différents types de matériaux seront sujets à différents types de variations temporelles ou dégradations, répertoriées. En parallèle, afin de rendre possible l'identification de ces variations et

d'éventuelles dégradations, réversibles ou irréversibles, des tests doivent être réalisés sur des échantillons pour déterminer les signatures spectrales caractéristiques qui pourront par la suite être retrouvées dans les relevés hyperspectraux *in situ*. En l'occurrence, l'un des enjeux majeurs relève du suivi de la teneur en eau des objets composés de tissu et du mobilier fait de bois, car ce sont les premiers impactés par les variations d'hygrométrie, soit par variations géométriques, soit par dégradations structurelles, voire infestations biologiques.

Ces recherches s'inscrivent dans le cadre du programme EPICO (European Protocol in Preventive Conservation), lancé en 2014 par l'Établissement Public de Versailles (EPV), et sont soutenues et financées par la Fondation des Sciences du Patrimoine. Le nouveau système gonio-hyperspectral, composé de deux caméras couvrant le spectre 400-1700nm (visible et proche infrarouge) et d'un LiDAR pour les informations géospatiales, est quant à lui financé dans le cadre de l'Equipex+ Espadon.



Principe du système gonio-hyperspectral

PRÉSENTÉ PAR :

Julie FROMAGER est doctorante en imagerie hyperspectrale tridimensionnelle, au laboratoire SATIE, au sein de l'université CY Cergy Paris, qu'elle intègre en 2023 après un an et demi de recherche en imagerie sous-marine pour la Tokyo University of Marine Science and Technology et un diplôme d'ingénierie des systèmes numériques de l'Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et de Mécanique en 2021. Ce doctorat, en partenariat avec la Fondation des Sciences du Patrimoine, s'inscrit dans un contexte de conservation préventive amorcé par l'Etablissement Public de Versailles et d'une optimisation de ses outils de conservation, en lien avec la méthodologie EPICO et le projet ESPADON.

Etude de cas, la palais Carnolès à Menton : les avantages de la démarche HBIM pour l'étude non invasive du patrimoine et la transmission des connaissances.

Case study, the Palais Carnolès in Menton: advantages of HBIM approach for non-invasive heritage studies and knowledge transmission.

— Frédérique VOUVÉ¹ — Guillaume QUÉRÉ¹ — Thierry MARTEL²

Mots-clés : HBIM, conservation, décors peints, climat, données

Autrice correspondante : frederique.vouve@a-bime.com

Le palais Carnolès est un ancien palais Grimaldi du XVII^e siècle, qui accueille le Musée des Beaux-Arts de la ville.

L'étude des intérieurs du palais débutée en 2019 s'est poursuivie en 2025 par la création d'une maquette sourcée, élaborée à partir des plans existants, d'un nuage de points, associée à une base de données pluridisciplinaires, synthétisant les données acquises les années précédentes.

Elle vise à renseigner la chronologie et l'état sanitaire de la décoration peinte (complexe) à l'aide des outils numériques. Les données recueillies sur ce site étant très nombreuses, la cartographie en SIG est un outil, une passerelle entre l'expertise sur site et sa représentation virtuelle en 3D. Il s'agit d'une

¹ A-BIME, Bouray-sur-Juine, France / ² Atelier Thierry Martel, Goult, France

approche non invasive, qui permet de synthétiser de nombreuses données thématiques qualitatives et quantitatives, de les interroger entre elles. C'est aussi un outil collaboratif et d'aide à la décision pour échanger au sein de l'équipe de maîtrise d'œuvre et avec les maîtres d'ouvrage.

Le site du palais est Monument historique et Musée. Les deux entités, impliquées dans le projet ont des besoins spécifiques, à accorder avec les caractéristiques du lieu. Les études climatiques et thermiques vont ainsi alimenter la connaissance de l'existant pour affiner le projet muséographique, en adéquation avec la conservation des décors peints anciens.

MODELE DE CONNAISSANCES A-BIME



PRÉSENTÉ PAR :



Frédérique VOUVÉ est archéomètre et conservateur des biens culturels, expert judiciaire auprès des tribunaux d'Aix-en-Provence. Ingénieur d'étude en laboratoire pendant dix-neuf ans, elle s'est spécialisée dans l'assistance au diagnostic sur des projets patrimoine immobilier et mobilier et plus particulièrement sur la connaissance des matériaux en œuvre, des désordres les affectant et des solutions curatives et préventives pour les préserver. Elle rejoint sur ces même thématiques l'équipe d'A-BIME fin 2018, où elle associe investigations sur site, en laboratoire et intégrations des données dans des projets BIM sourcés : Pic du midi (projet UNESCO), cathédrale et archevêché d'Annecy.

Acoustic Emission for active pest detection - Enhancement and integration into IPM strategy.

L'émission acoustique pour la détection d'infestations actives - Développement de la technique et cas pratiques.

— Cécile Costa¹

Keywords: acoustic emission, pest detection

Corresponding author: cecile.costa@he-arc.ch

Insect infestations remain a persistent threat to heritage collections, causing irreversible damage. Climate change and increased global trade exacerbates this risk by accelerating pest proliferation and the introduction of new species in temperate regions. Museums must therefore continuously adapt their Integrated Pest Management (IPM) strategies.

Acoustic Emission (AE) offers a promising tool for this challenge. This non-destructive technique uses piezoelectric sensors to detect stress waves generated within material (Ziegler, Dudzik, 2019). AE has a wide range of industrial applications and is now being adapted to cultural heritage for condition assessment of objects and more recently to detect active infestation in wooden objects. In this case, stress waves are produced when wood fibers are broken by insect feeding activity. (Le Conte *et al.*, 2015)

In 2024, The Haute Ecole Arc Conservation-Restauration (He-Arc CR, Neuchâtel, Switzerland) conducted a preliminary study

¹ Haute École Arc, Neuchâtel, Switzerland

at the National Automobile Museum of Mulhouse (France) on infested historic vehicles, testing various coupling materials and confirming the system's sensitivity. In 2025, following the restriction of anoxia treatment in Canada, the method was further investigated at the Canadian Museum of History (CMH) to integrate AE into the museum's IPM framework.

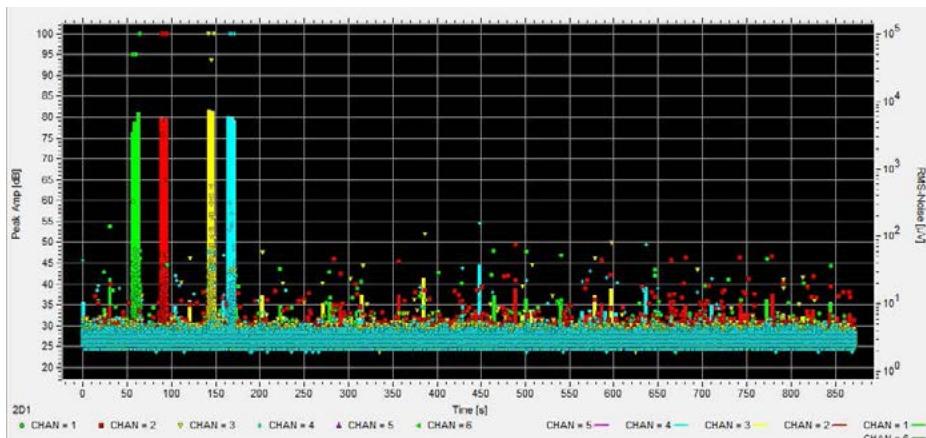
Experiments employed a Vallen® AMSY-6 system with VS900-M sensors (100–900 kHz). Both infested and non-infested artefacts were examined to study the attenuation of AE signals through various organic materials such as wood, paper, leather and textiles. On non-infested artefacts, signals were artificially generated by breaking a calibrated pencil lead. Multiple coupling methods, including spray cyclododecane, Renaissance® wax and mechanical coupling were selected depending on the nature of the tested sample.

Results confirmed AE's strong efficiency for wooden artefacts: clear, repeatable signals above background noise were recorded. Several factors influenced signal propagation including material density, grain orientation, moisture content and coupling method. Conversely, trials on paper, leather and textiles revealed excessive attenuation, limiting detection reliability under current configurations.

A comprehensive practical protocol was developed to guide conservators through sensor preparation, calibration, placement, and signal interpretation. This resource enables autonomous use and effective integration into IPM programs.

The study demonstrates that AE provides a reliable, fast, and non-invasive method for detecting active infestations in wooden collections. Beyond diagnosis, AE enables continuous monitoring and post-treatment verification. Further research on AI-assisted signal recognition, signal attenuation and coupling methods could improve this method and facilitate its wider adoption in museums.

Acoustic Emission thus emerges as a scientifically robust and operationally viable approach, strengthening preventive conservation practices worldwide by enabling early detection and targeted intervention while optimizing resources.



AE data obtained from an infested wood sample.

PRESENTED BY:



Cécile COSTA obtained a Bachelor's degree in Conservation from the Haute École Arc, Neuchâtel, Switzerland, in 2025 and is now pursuing a Master's degree in the Conservation and Restoration of Archaeological and Ethnographic Objects. Her Bachelor research investigated the use of acoustic emission to detect active infestations in heritage materials. In parallel with her studies, she works in a book and paper conservation workshop and at the Neuchâtel Botanical Garden Museum.

As How AI is helping Spectral Imaging to be a better tool for Art conservator

Comment l'IA contribue à améliorer l'imagerie spectrale pour en faire un outil plus performant pour les conservateurs.

— Antonio CARDOSO¹ — Vassilis PAPADAKIS²

Keywords: spectral Imaging, AI, Conservation

Corresponding author: antoniocardoso@xpectraltek.com

Spectra Imaging technology has been used by art conservation practitioners for decades with fairly good results regarding the achievements that it has provided for a better art diagnose and conservation intervention preparation. Artificial Intelligence applications, connected to an ever-growing cloud wide access and capabilities, is emerging as a reality with a constant bigger maturity, taking a growing role in helping conservators to have access to a better and more accurate data analysis.

Artificial Intelligence technology, linked in a closer relation with brand new cloud capabilities emerging in the market, is more than ever taking a place in the way cultural heritage is being looked and preserver for future generations. Coming from this very present reality a new proposal as just reach the hand of every art conservator and researcher with European project XpeCAM Solution (Grant ID Grant agreement ID: 811764) end result.

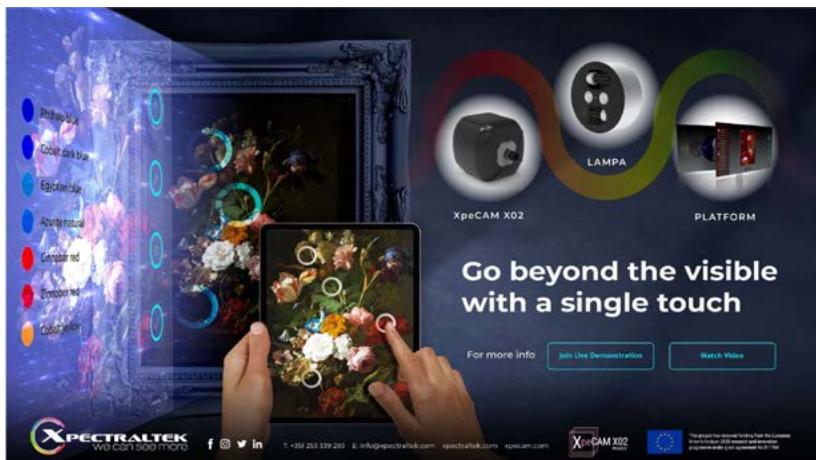
¹ XpectralTEK, Braga, Portugal. / ² University of West Attica, Athen, Greece

XpeCAM EU project based all the work development in the following features:

- *Automatic system* that enable XpeCAM to be fully automated regarding data acquisition, allowing it usage by less expert users in analytical technologies. A particular care was considering in the selection of all components (sensor, acquired data size) to make the full solution cheaper, faster and user-friendly.
- *Cloud reference database*. A core database was created with a list of reference reflection spectra from pigments, binding media and varnishes in a large spectral range. Multiple parameters were taken in account as: thickness of material layer, particle size, ageing factors of the materials (temperature, relative humidity, UV light, natural conditions, etc.) and additional measurements from other analytical methods (LIBS, FTIR, XRF, etc.).
- *Cloud storage / processing / analytics / data clustering* with algorithms that enable pigment & materials characterization & mapping of specific spectral characteristics on the surface under analysis. The multidimensional datasets resulting from analysis are processed in real time provides results interpretation.
- *Automated report generation* with measurements that contain surface information under study, and results from the analysis. The main structure is chosen by the end-user from a template list or designed under a specific methodology. Text is automatically generated based on the principal wavelengths that contributed to the results.
- *Data sharing*. Users have the option to share the results and/or data with others in a community, increasing the end work quality of the overall project coming from the surface studied.

By allowing the user to have access to such a user-friendly technology, the high-quality conservation work that was

reserved for first class art works is now available for new market segments that can afford it. Users can use XpeCAM to produce the analytical data previously subcontracted and keep the value to themselves. It also gives more versatility to the restoration professional and speeds up the conservation process, as professionals receive the data almost instantly, not needing to wait for the results to come from the lab.



PRESENTED BY:



As an entrepreneur **António CARDOSO** has introduced novel technology based in AI & Deep cloud in fields as Cultural Heritage, Agriculture or Industry. For the last 25 years he has created several successful EU

companies. As a cofounder of XpectralTEK since 2015, he has devoted his time to the R&D of new products and applications that can help every end user to be more efficient and productive in their daily work.

Restaurer pendant la création : les archives des ateliers de restauration, un outil d'analyses sous-exploité.

Restoring during creation: restoration workshops archives, an underutilised analytical tool.

— Guillemette CAUPIN¹

Mots-clés : Conservation primaire, restaurateurs,
restauration de peintures, artiste, atelier de restauration

Autrice correspondante : guillemette.caupin@gmail.com

Restaurer pendant la création. Restaurer des œuvres jeunes et sans altération apparente. Est-ce véritablement envisageable ? Pourquoi et dans quelles circonstances ? Peut-on vraiment parler de restauration alors que l'artiste est encore en pleine création de son œuvre ? Ces questions se sont imposées à moi lors de ma découverte des archives commerciales de la Fondation Georges Rouault, en particulier un ensemble de factures émises par des ateliers de restauration de peintures parisiens, adressées à un commanditaire inhabituel, l'artiste lui-même, pour la restauration de plusieurs de ses œuvres en cours de création.

Parmi ces mémoires de restauration, prenons un exemple concret : une facture émise par l'atelier de restauration de peintures Charles Chapuis et Marcel Coince, adressée à l'artiste français Georges Rouault (1871-1958) en février 1935. Alors vivant, l'artiste commande le rentoilage de quatre de ses œuvres

¹ Département de conservation-restauration des peintures, Metropolitan Museum of Art, New York, Etats-Unis

sur papier, qu'il n'a pas encore terminées¹. Bien que ces œuvres ne présentent aucune altération, Rouault souhaite que ses récentes peintures sur papier soient transférées sur un support plus rigide, afin de pouvoir poursuivre son travail de montée en pâte et éventuellement d'achever ses compositions. Ainsi, l'œuvre, initialement créée sur papier dans l'atelier de l'artiste, revient plusieurs semaines, voire mois plus tard, montée sur toile, tendue sur châssis et bordée d'un papier de kraft gommé. Il convient de souligner que ce processus n'est pas anecdotique dans sa pratique. En effet, Rouault a fréquemment fait appel à des restaurateurs parisiens pour la préparation de ses peintures.

Ainsi, ces documents d'archives révèlent un dialogue fascinant sur la fine frontière entre conservation et création, tout en mettant en lumière le rôle crucial de la restauration dans l'évolution d'une œuvre en gestation. Ces archives soulèvent des questions fondamentales : pourquoi une œuvre inachevée ou récemment terminée nécessiterait-elle l'intervention d'un restaurateur de peintures ? Et pourquoi l'artiste, en tant que créateur, ferait-il appel à l'expertise d'un spécialiste de la matière ? Ce processus, souvent initié par l'artiste lui-même, se déroule à un moment particulier, celui de la création, une temporalité souvent ignorée dans les récits traditionnels de la conservation. En effet, ces archives ont révélé une spécialité jusque-là peu explorée dans la conservation des peintures : la conservation primaire², c'est-à-dire l'intervention du restaurateur pendant le processus créatif ou immédiatement après l'achèvement de l'œuvre. Ce sujet constitue le cœur de ma récente thèse en histoire de l'art, traitant de l'histoire de la restauration des peintures en France et de ses pratiques³. L'étude des archives de certains

1 Facture issue des archives de la Fondation Georges Rouault, reproduite dans la liste des illustrations proposées pour cette publication

2 Terme inventé et employé dans ma recherche doctorale, désignant une temporalité particulière de l'acte de restauration, à savoir le début de la vie matérielle d'une peinture

3 Défendue à Paris, le 19 décembre 2024, à l'université Paris 1

ateliers de restauration parisiens des XIX^e et XX^e siècles, qui priviliege une approche non destructive permettant de préserver la structure des œuvres, a révélé que restaurer durant le processus de création est un fait historique avéré depuis le début du XIX^e siècle en France. Ces documents, notamment les factures de restauration et les agendas d'atelier, sont essentiels pour approfondir la compréhension des œuvres tout en préservant leur intégrité. Dans le cadre de Rouault (cité ci-dessus), par exemple, les rentoilages précoces de ses peintures impliquent que cette intervention fait partie intégrante de la stratigraphie originale de l'œuvre. Là où un rentoilage pourrait sembler "inutile" ou ne consolider aucune altération, il pourrait être envisagé pour être retiré lors des campagnes de restauration. En ce sens, le rentoilage fait partie des matériaux originaux de l'œuvre et ne peut être touché sans une analyse approfondie.

Cette contribution propose de revenir aux sources archivistiques - outil d'analyse non intrusive et sous-exploité - afin de retracer la fabrication d'une œuvre, de commenter sa matérialité et son état de conservation, là où parfois l'œuvre elle-même ne parle pas et révèle peu d'informations. Plus largement, elle invite à une relecture du rôle de l'acte de restauration dans l'histoire matérielle des œuvres peintes, en considérant de manière inédite que la conservation-restauration a pu intervenir et se mêler au processus de création, soit pendant la réalisation de l'œuvre, soit juste après son achèvement comme faisant parti de la "génétique" d'une peinture (Pierre-Marc de Biasi). Au cours de la première moitié du XIX^e siècle en France, le restaurateur introduit de nouveaux services de restauration "in progress", c'est-à-dire pendant la création même de l'œuvre, en se spécialisant dans la "restauration de tableaux modernes", en opposition à celle des tableaux anciens. Grâce à cette nouvelle spécialité, il répond à des besoins spécifiques tout en élargissant

son éventail de services et de compétences, et s'impose ainsi une place renouvelée parmi le monde de l'art de son époque. Désormais, il intègre la liste des "intermédiaires" mis en lumière par André Chastel et Krzysztof Pomian (Chastel, Pomian, 1987), ou encore dans la catégorie du "personnel de renfort" évoquée par le sociologue américain Howard Becker (Becker, 1982). En tant que participant discret, il joue un rôle d'aide à la création, offrant divers traitements de conservation traditionnels sur les œuvres en cours de création ou récemment exécutées. Cette contribution vise également à éclairer l'histoire globale de la conservation-restauration des peintures en France et de ses pratiques. Elle montre que la conservation-restauration est une discipline en constante redéfinition, et invite à la concevoir comme bien plus vaste que ne le laisse supposer sa définition traditionnelle.



En-tête de facture de M. Alphonse Paul Bouvard en 1906 annonçant sa spécialité dans la restauration de tableaux anciens et modernes.
(Source : archives de Paul Rosenberg)

PRÉSENTÉ PAR :

Guillemette CAUPIN est restauratrice de tableaux depuis 2023 au Département de conservation-restauration des peintures du MET à New York, dans le cadre de la rénovation des galeries modernes et contemporaines du musée, le Tang Wing Project. Avant cela, elle a pratiqué au sein de divers ateliers et compagnies privées en France, en Belgique, au Liban et aux États-Unis. Spécialisé dans la conservation-restauration des peintures modernes et contemporaines, elle a également enseigné l'histoire des matériaux de la peinture et les techniques de retouche aux Écoles de Condé. Elle est titulaire d'un master en conservation-restauration du patrimoine et d'un doctorat en histoire de l'art de l'Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.

Bibliographie indicative

- BOMFORD David et LEONARD Mark (dir.), *Issues in the Conservation of Paintings*, Los Angeles, Getty Conservation Institute, 2004.
- BRAJER Isabelle (dir.), *Conservation in the Nineteenth Century*, Londres, Archetype Publications, 2013.
- CAUPIN Guillemette, « *The Maison Kiewert: Restoration Studio in Paris and the Practice of Active Conservation* », *Getty Research Journal*, no 15, 2022, p. 113–32.
- ÉMILE-MALE Gilberte, *Pour une histoire de la restauration des peintures en France*, Paris, Institut national du patrimoine/Somogy Éditions d'art, 2008.
- ÉTIENNE Noémie, *La Restauration des peintures à Paris (1750-1815) : pratiques et discours sur la matérialité des œuvres d'art*, Rennes, PUR, 2012.
- ÉTIENNE Noémie et HÉNAUT Léonie (dir.), *L'Histoire à l'atelier. Restaurer les œuvres d'art (XVIII^e-XXI^e siècles)*, actes de la journée d'étude « *Restaurer les œuvres d'art : acteurs et pratiques* », tenue à l'Institut national d'histoire de l'art le 30 juin 2009, Lyon, Presses universitaires de Lyon, 2012.
- HACKNEY Stephen, *On canvas: Preserving the Structure of Paintings*, Los Angeles, GCI, 2020.
- JOUVES Barbara, *Amateurs et restaurateurs de tableaux à Paris (1789-1870)*, Paris, Éditions de la Sorbonne, 2024.
- VOLLE Nathalie, CABILLIC Isabelle et LAUWICK Béatrice (dir.), *Dictionnaire historique des restaurateurs, tableaux et œuvres sur papier*, Paris, 1750-1950, Paris, Éditions du Louvre – Mare & Martin, 2020.

Mise en place d'une base de données pour caractérisation des dorures par laser (LIBS).

Elaboration of a database for the characterization of gilding by laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS).

— Perrine SCHLOEGEL¹ — Stéphanie COURTIER³ —
Luc ROSENBAUM¹ — Victoria AGUILAR¹ — Martin LABOURÉ² —
Carla LABOURÉ² — Fabrice SURMA¹

Mots-clefs : Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS), méthodologie non invasive, analyse en composante principale (ACP), feuille d'or, base de données

Autrice correspondante : stephanie.courtier@culture.gouv.fr

Les feuilles d'or sont réalisées à partir d'or ou d'alliages, laminées puis battues. Félibien nous rapporte que Pline, dès le I^{er} siècle après J.C, explique que « *d'une once d'Or ils n'en faisaient que cinq ou sept cents feüilles, qui avoient quatre doigts en quarré* ». Au XV^e, Cennino Cennini explique, dans son Traité de la peinture, que l'épaisseur des feuilles d'or peut varier selon les techniques de dorures employées : « *L'or sur les parties plates doit être plus fort. Aie soin, quand tu veux connaître l'or que tu achètes, de le prendre chez de bons batteurs d'or et de le regarder ; ...Pour les frises et ornements faits au mordant, il doit être très-fin comme toile d'araignée* ». Il évoque aussi de dorure à l'étain doré dont le coût est moindre.

Dès l'origine, le métier de doreur fut un métier de décorateur. Homère dans son Odyssée et Pline l'ancien dans Naturalis

¹ Laboratoire Epitopos, Strasbourg, France / ² Méscla Patrimoine, Strasbourg, France / ³ Centre de recherche et de restauration des musées de France (C2RMF), Palais du Louvre, Paris, France

Historia Livre XXVIII rapportent les premiers ouvrages dorés connus. La dorure constitue la surface de nombreux objets, tels que le mobilier, les éléments de décor, les objets religieux et les petits objets usuels. Les décors dorés illustrent le luxe, la beauté, le raffinement et le faste des arts. Ducerceau, au XVI^e siècle, présente de nouvelles distributions d'intérieur. Cette évolution amène une décoration intérieure plus fournie en éléments, celui du plafond de l'Arsenal à Paris, exécuté et doré par Blaise Barbier en 1630, apporte l'exemple de ces modifications. Les décors dorés, réalisés pour les Arts Décoratifs à partir de la seconde moitié du XVII^e siècle se voient enrichis par de nombreuses techniques.

S'il est une notion qui définit ce que l'on qualifie aujourd'hui de décoratif, c'est celle de l'ornement. « *Orner : parer, mettre en valeur par des ajouts, rendre plus riche* ». Le doreur a toujours travaillé étroitement avec le batteur d'or, notons que la réalisation des supports participe à la construction des décors dorés. C'est à partir du XVIII^e siècle qu'il faut situer l'apogée du métier de doreur ornemaniste, devenant doreur-vernissoyeur, doreur-enjoliveur, doreur-encadreur.

Nous ne pouvons pas aborder les décors dorés sans essayer de lister les techniques qui les composent, la première dite dorure à la détrempe est aqueuse, la seconde dite dorure à la mixtion est constituée d'un polymère d'origine végétale (huile de lin). La troisième dite dorure à la grecque est composée d'une colle protéique dont les charges sont différentes. Cependant, il existe des techniques de dorure anciennes, composées d'autres liants comme la dorure à l'œuf, à la gélatine, à la coquille, à la cire d'abeille, au miel et d'autres mordants comme l'ail au XVIII^e siècle. Il existe de multiples façons de réaliser une surface dorée. Notons que de tout temps, la volonté d'imiter l'or et de pallier l'utilisation de cet alliage pour des raisons esthétiques et financières a permis d'innover techniquement dans de nouveaux matériaux. Citons l'orpiment du latin *Auripimentum*, pigment minéral composé

de trisulfure d'arsenic (As_2S_3), le pigment organique de synthèse, connu depuis le XIII^e dont il existe plusieurs variantes aux XIV^e et XV^e siècles, les poudres à bronzer, composées d'alliage de zinc et d'étain additionné d'un liant organique, découvertes par Couvier en 1781.

Les méthodes actuelles d'identification de la dorure sont souvent visuelles et nécessitent un prélèvement destructif. Un premier programme d'étude a été mis en place afin de caractériser une dorure par laser (LIBS, Nd-Yag 532nm, gamme spectrale) et ainsi limiter l'impact.

Des éprouvettes ont été réalisées par Stéphanie Courtier, responsable de l'atelier de restauration de bois doré du C2RMF, avec des feuilles d'or de différents carats afin de déterminer et référencer les compositions, les épaisseurs et dimensions. Elles sont ainsi classées statistiquement par analyse en composante principale (ACP) en fonction de leur teneur en or, argent et cuivre. La base de données obtenues a ensuite été testée par l'équipe de conservateur-restaurateurs et de scientifiques sur des éléments des arts décoratifs *in situ*, au Palais des Rohan de Strasbourg et nous a permis de distinguer les dorures de restauration des dorures anciennes.

Une seconde phase d'étude a ensuite été lancée par Les scientifiques de la société Epitopos pour valider le protocole mis en place. Un deuxième laser d'analyse (LIB-z903, ultra portable) a été utilisé afin de vérifier la répétabilité. Ce laser présente une plus grande précision et une gamme spectrale plus grande (250–950nm). Les résultats obtenus sont identiques à la première étude et ont permis d'affiner le modèle.

Grâce à une collaboration avec batteur d'or allemand, Christian Sheuring PDG de la société Eytzinger et l'atelier de restauration de bois doré du Centre de recherche et de restauration des musées de France (C2RMF) d'autres feuilles d'or ont pu être analysées et sont venues agrandir la base de données.

L'ensemble de ces dorures a été étudiées par colorimétrie (CIELab) afin de relier la chimie à la teinte. Les résultats ont permis de montrer des corrélations entre niveau de luminance (L) et teneur en argent (Ag) ; entre niveau de rouge (a) et teneur en cuivre (Cu) ; entre niveau de jaune (b) et teneur en or (Au). La teinte des feuilles d'or s'altérant avec le temps, ce lien peut donc s'avérer très utile au moment de leur restauration.

La mise en place d'une méthode d'identification des dorures a été rendue possible grâce à l'ensemble des acteurs du patrimoine. Le protocole mis en place et le lien entre chimie et teinte seront ensuite étendus à d'autres métaux (bronzines, argentures,... etc.).



Analyses des surfaces dorées par LIBS – Projet CléOR

PRÉSENTÉ PAR :



Perrine SCHLOEGEL, est ingénierie en géophysique diplômée de l'École et Observatoire des Sciences de la Terre de Strasbourg. Elle s'occupe du pôle R&D en physique des roches du laboratoire EPITOPOS. Elle participe également à l'amélioration de la technologie LIBS du et met son savoir-faire en géologie et en informatique au service du patrimoine et du développement des activités du laboratoire.



Victoria AGUILAR est ingénierie en géophysique diplômée de l'École et Observatoire des Sciences de la Terre de Strasbourg. Victoria est spécialisée en pétrographie et pétrophysique. Elle met son savoir-faire au service du patrimoine afin de développer de nouveaux modes d'analyses au sein du laboratoire Epitopos.

Apports des méthodes non destructives dans l'étude des œuvres contemporaines notamment dans le cadre des sciences criminalistiques en faux artistique.

Contribution of non-destructive methods to the study of contemporary artworks, particularly in the framework of forensic sciences in artistic forgery.

— Violaine DE VILLEMERUEUIL¹ — Nathalie BALCAR²

Mots-clefs : FTIR, contemporain, faux artistiques, XRF

Autrice correspondante : v.devillemereuil@ose-services.com

L'étude et la conservation des œuvres d'art contemporaines représentent un défi majeur en raison de la diversité et de la complexité des matériaux modernes. Les artistes des XX^e et XXI^e siècles exploitent une large gamme de peintures, liants, vernis et supports industriels ou synthétiques, dont les formulations évoluent rapidement. Cette variabilité rend indispensable l'usage d'approches analytiques adaptées, capables d'identifier précisément la nature des matériaux tout en préservant l'intégrité des œuvres. Dans ce contexte, les méthodes d'analyse *in situ* et non destructives jouent un rôle central, tant pour la conservation-restauration que pour la détection de faux artistiques.

¹ Ose Services, Paris, France. / ² Centre de recherche et de restauration des musées de France (C2RMF), Palais du Louvre, Paris, France

Les examens *in situ* constituent souvent la première étape de l'analyse matérielle. Ils permettent d'obtenir des informations essentielles avant d'avoir recours à des analyses complémentaires, nécessitant des microprélèvements en laboratoire. Parmi ces méthodes, l'imagerie par microscopie opto-numérique offre une observation à haute résolution des surfaces : elle permet de caractériser les techniques picturales, de repérer les craquelures, d'identifier d'éventuelles retouches et de documenter l'état de conservation. Elle constitue ainsi un outil de diagnostic rapide et non invasif, précieux pour établir une première cartographie des altérations et des interventions passées.

La spectrométrie XRF (fluorescence X) s'impose comme l'une des techniques *in situ* les plus fiables pour analyser la composition élémentaire des pigments. Elle permet de détecter la présence de matériaux anachroniques, révélateurs d'interventions modernes ou de falsifications. Par exemple, la mise en évidence de pigments synthétiques apparus au XX^e siècle dans une œuvre attribuée à une période antérieure constitue un indice fort de non-authenticité. Cette méthode, entièrement non invasive, est aujourd'hui un outil incontournable dans les enquêtes sur les faux artistiques.

La spectrométrie FTIR, utilisée en mode ATR (avec contact) ou en mode réflectance/DRIFTS (sans contact), permet quant à elle d'identifier les liants, vernis, charges et certains pigments. Son efficacité repose sur l'existence de bases de données de référence permettant la comparaison des spectres. Dans le cas des œuvres contemporaines, cette démarche est parfois limitée par l'absence de référentiels exhaustifs : les artistes utilisant souvent des produits prêts à l'emploi dont la composition évolue au gré des innovations industrielles. Le mode DRIFTS, relativement récent en contexte patrimonial, souffre encore davantage de ce manque de données.

La détection des faux artistiques repose sur la comparaison entre les caractéristiques matérielles observées et celles

historiquement associées à un artiste, une période ou une école. Les techniques portables permettent notamment d'identifier des pigments ou liants synthétiques impossibles à reproduire à une époque donnée, ou encore des incohérences stratigraphiques dans les couches picturales.

Malgré leur efficacité, les méthodes non invasives présentent des limites : sensibilité parfois insuffisante, dépendance à des bases de données de référence, ou encore capacité limitée à analyser la stratigraphie en profondeur. Ainsi, les examens *in situ* doivent souvent être complétés par des analyses en laboratoire (microscopie électronique, chromatographie, datations...) pour confirmer les résultats.

En définitive, l'intégration des techniques non destructives constitue une avancée essentielle pour la conservation et l'expertise des œuvres contemporaines. Elles offrent une première évaluation rapide, fiable et respectueuse de l'intégrité des œuvres, tout en servant de fondement à une approche interdisciplinaire indispensable pour comprendre, préserver et authentifier les œuvres.



Analyse non invasive sur une œuvre sur papier par DRIFT-FTIR (FTIR 4300 Agilent, Microlab) ©OSE SERVICES

PRÉSENTÉ PAR :



Violaine DE VILLEMERUI est experte en conservation-restauration et en criminalistique du patrimoine. Ingénierie diplômée de CPE Lyon (2005), elle complète sa formation par un Diplôme Universitaire en criminalistique à l'Université Paris Descartes (2010) ainsi qu'une formation en histoire de l'art à l'Université Lille III. Spécialisée dans l'étude des matériaux contemporains et l'analyse non invasive des œuvres, elle développe des approches scientifiques appliquées à la conservation, à l'authentification et à la détection de faux.

Nathalie BALCAR est ingénierie d'études spécialisée dans la conservation de l'art moderne et contemporain. Elle participe aux études préliminaires et au suivi scientifique des traitements de conservation, en mettant à profit son expertise dans l'analyse des matériaux synthétiques. Elle maîtrise les techniques Py-GC et Py-GC/MS, ainsi que les analyses en coupe et les analyses élémentaires par MEB-EDS. Nathalie constitue également des collections de référence de peintures d'artistes, de peintures industrielles et d'objets plastiques, ressources essentielles pour l'identification des matériaux contemporains. Elle est activement impliquée dans des programmes de recherche, auxquels elle contribue à la fois dans leur conception et leur réalisation.

What makes them unique? Elemental composition analysis of 18th-century Warsaw faience from the MNW Ceramics and Glass Collection using XRF spectroscopy.

Qu'est ce qui les rend uniques ?
Analyse par spectroscopie MFX de
la composition chimique élémentaire
de faïences de Varsovie du XVIII^e
siècle provenant de la collection de
céramiques et de verres du Musée
National de Varsovie.

— Ewa KATARZYNA ŚWIETLICKA¹ — Justyna KWIATKOWSKA¹

Keywords: Warsaw, faience, XRF

Corresponding author: jkwiatkowska@mnw.art.pl

Warsaw faience dating back to the late 18th century, inspired by European and Far Eastern ceramics, is unique as an artistic phenomenon. The notion of Warsaw faience refers to vessels manufactured in two Warsaw factories – the Royal Factory in Belweder near Warsaw located near the palace by that name in Łazienki (the royal summer residence) and the city faience factory located in Bielino (in the heart of Warsaw). The first factory was founded 1770 by Stanisław August Poniatowski; while the second one was established ten years later on the initiative

¹ National Museum of Warsaw, Poland.

of Karol Wolff, who most likely arrived from Germany. Both factories operated for a brief time – the Belweder factory was in the business until 1780, while the Bielino factory lasted to 1795. In a short time, both manufactories managed to reach a high technological and artistic level. The products of the Belweder factory were particularly innovative, to the point where they ushered in a new phase in the development of fine ceramics manufacturing in Poland. The National Museum in Warsaw holds forty Warsaw faience wares, mainly vases from decorative sets. The most famous specimens from the Belweder factory include the crockery from the so-called Sultan service with Imari decoration released in 1777, which featured more than 150 pieces, commissioned by King Stanisław August Poniatowski as a gift to the Turkish Sultan Abdul Hamid I.

To date, Warsaw faience has not been the subject of stylistic and formal studies as well as physical and chemical analyses. In order to better understand the technique and technology of their production, a study of the elemental composition of the glazes of around 50 different faience pieces, which were hypothetically manufactured at Warsaw factories, was undertaken in 2024–2025 at the NMW as part of an internal project. Measurements were taken with a portable X-ray fluorescence spectrometer (XRF). XRF spectroscopy enabled determining the chemical composition of a group of selected faience pieces, as well as to identify the elements occurring in the glazes and ceramic masses, which provided knowledge about the decoration techniques used. By comparing the chemical composition of the ceramic and glazes of vessels, the authors managed to characterise their features, which will be helpful in the process of attributing objects of uncertain provenance to specific manufactories and in determining their authenticity. Furthermore, the ability to compare the chemical composition of Warsaw products with similar artefacts from France, England, Italy, the Netherlands or even the Far East will allow to identify mutual influences, technology

imports and adaptations of foreign models. This will make it possible to better place Warsaw faïence in the context of European ceramics of the same period. In addition, the analyses revealed signs of material degradation and previous conservation, which were invisible at a glance and which are of great importance to both the museum and conservators involved in the preservation of historic objects.

The project is coordinated by curator Ewa Katarzyna Świecka (National Museum in Warsaw), while Justyna Kwiatkowska (National Museum in Warsaw) is participating as an expert conservationist.



Bielino manufactory
inv. no 19872/1/a-b MNW

Belweder manufactory
inv. no S2C 3107 MNW

Bielino manufactory
inv. no 129877/a-b MNW

Vessels from the Belweder and Bielino faience manufactories analyzed in the XRF study (MNW collections).

PRESENTED BY:



Justyna KWIATKOWSKA is graduated of the Faculty of Chemistry, University of Warsaw (author of the master's thesis LA-ICP-MS in the study of heterogeneous historic objects). Since 2016 employed at the National Museum in Warsaw in the Laboratory for Research and Protection of Museum Collections. Research focuses on physicochemical analyses of artworks using X-ray fluorescence spectrometry (XRF), attenuated total reflection Fourier-transform infrared spectroscopy (ATR-FTIR) and stratigraphic studies of technological layers. Co-author of publications on the analysis of pigments in the works of Henryk Siemiradzki, the paintings of Józef Chelmoński, the mummy portrait of a boy, and portrait miniatures on copper supports.

«The marked white»: an alien from the gilding surface visible by MITHRA X-ray fluorescence.

Le « blanc marqué » : un alien de la surface dorée visible par fluorescence X MITHRA.

— Stéphanie Courtier¹, Thomas Calligaro^{1,2}, Nathalie Pingaud¹

Mots-clefs : dorure, restauration, Blanc marqué, traçabilité, fluorescence X

Autrice correspondante : stephanie.courtier@culture.gouv.fr

In restoration, traceability is a fundamental principle that ensures transparency in the interventions carried out by the conservator-restorer while preserving the historical and artistic integrity of the artwork. Since 2012, the giltwood restoration workshop at the C2RMF has been developing a new technical approach that allows for the differentiation of restored surfaces.

Gilded wood surfaces are prepared with a white base coat called “apprêts” et “gros blanc” in French. The “apprêt” is made of thin, superimposed layers that prepare the surface by smoothing, filling, and removing any imperfections to ensure a solid foundation for the gilding. They are made of calcium carbonate and rabbit skin glue, promoting adhesion, capillary action, malleability, and overall cohesion. The “gros blanc” is a white solid primer made in molds to create reproductions of relief ornaments. Although its application differs from liquid preparations, it also consists of calcium carbonate and protein glue.

¹ Centre de recherche et de restauration des musées de France (C2RMF), Palais du Louvre, Paris, France / ² UAR 3506 Laboratoire de développement instrumental et de méthodologies innovantes pour l'étude des biens culturels, Lab-BC, CNRS / Ministère de la Culture / Chimie Paristech, Palais du Louvre, Paris, France

The impressions/print of “gros blanc” are glued onto the ground coats using an adhesive called “encollage blanc” in French. This liquid preparation, composed of a small concentration of calcium carbonate mixed with protein glue, is part of this preparatory stage for gilding.

In the restoration of gilded wood, the most common forms of damage are due to dehydration, alteration of the materials, and loss of cohesion. These gaps, sometimes quite large, prevent a uniform appearance of the surface and necessitate the reapplication of gilding. To avoid any falsification, the work of the conservator-restorer must harmonize with the original surfaces while still leaving evidence of the restoration.

The “Marked primer” research program, initiated by the gilding workshop at the C2RMF and led by Stéphanie Courtier, aims to develop a restoration protocol that incorporates a chemical marker, titanium dioxide (TiO_2), into the white primer. This marked material complies with the challenges of conserving and restoring heritage works by meeting three criteria: it must be natural and environmentally friendly, it must not alter the physical properties of the pigment, and it must preserve the techniques of the gilder and the heritage restorer.

The restoration of the elements from the throne room of Louis XVIII's, four torchères, two armchairs, a screen, and a fire screen—exhibited in the Department of Decorative Arts at the Louvre Museum, was entrusted to the giltwood restoration workshop of the C2RMF between 2022 and 2024. As some of the sculpted sections on the torchères' chimeras were incomplete and/or severely damaged, it was necessary to reintegrate these carved wooden surfaces, whiten them, repair them, and regild them identically. These restorations were carried out using traditional techniques incorporating marked materials. Thus, after the repair treatment, the preparations for gilding, the application of Alienor gold leaf

(marked gold), the interplay of burnishing and matte finishes, and the patina were all completed. The restoration revealed, to the naked eye, a perfect harmony between the restored and original parts.

To unambiguously distinguish restoration interventions from the marked white area, physicochemical analyses were performed to differentiate restored from original parts. Analysis of stratigraphic sections taken from both «marked» and «unmarked» preparations revealed the homogeneity of the mixture. Combined with new direct, non-contact chemical imaging equipment (the MITHRA X-ray fluorescence scanner developed at C2RMF), this non-invasive analysis technique was tested and allowed for the unambiguous localization of original and restored areas.



Le blanc marqué caractérisé sous scanner de fluorescence X MITHRA

PRÉSENTÉ PAR :



Stéphanie COURTIER, chef de l'atelier de restauration de bois doré du C2RMF porte un grand intérêt à la connaissance des techniques anciennes, ainsi qu'au développement de nouvelles approches en restauration, accompagnées de matériaux de restauration identifiables par analyses: « le blanc marqué » et « la feuille d'or Aliénor ». En 2018, elle participe au projet du Getty « Nettoyage des surfaces dorées ». Fondatrice en 2017 du groupe Dorure de la Section française de l'IIC, elle réunit les spécialistes des surfaces métalliques sur tous supports. Depuis 2023, elle pilote un projet européen CléOR, portant sur l'étude des matériaux et des surfaces dorées.

Recherche collaborative et formative : La nécessité du dialogue dans l'efficacité d'une stratégie analytique multimodale utilisant la microscopie, la spectroscopie et les tests microchimiques sur un unique microéchantillon.

Collaborative and educational research: the need for dialogue in the effectiveness of a multimodal analytical strategy using microscopy, spectroscopy and microchemical tests on a single microsample.

— Elsa PERRUCHINI¹ — Chloé RANCHOUX¹

Mots-clefs : interdisciplinarité, peinture, imagerie non-invasive, coupes stratigraphiques, microanalyses chimiques
Autrice correspondante : elsa.perruchini@inp.fr

Dans le cadre du travail de pédagogie réalisé à l’Institut national du patrimoine (INP), les analyses demandées au Laboratoire de recherche par les élèves restaurateurs lors de leur cursus font partie intégrante de leur apprentissage. Un programme a été mis en place qui passe par le dialogue entre les élèves et le laboratoire autour des demandes d’imagerie et d’analyses et des résultats obtenus. Ce dialogue est primordial. Il permet non

¹ Institut national du patrimoine (InP), Aubervilliers, France.

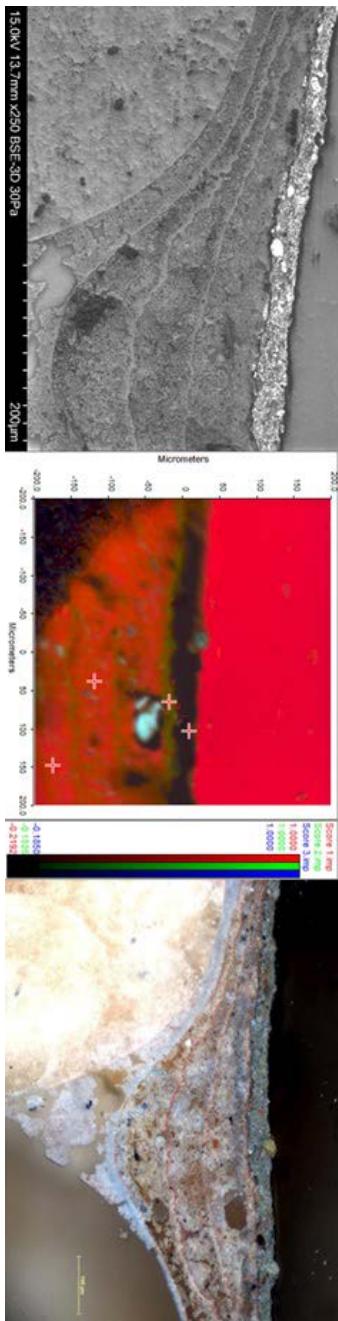
seulement à l'élève de mieux comprendre les avantages et limites des techniques d'analyse mais permet également que ces analyses répondent au mieux aux questions posées.

Nous présentons ici la stratégie analytique et collaborative mise en place au laboratoire de recherche de l'InP pour la meilleure compréhension des techniques picturales. Cette méthodologie utilise la combinaison de l'expertise technique des membres du laboratoire et la documentation contextuelle élargie ainsi que la connaissance apportée par les conservateurs-restaurateurs.

Les traités techniques sur la peinture sont une source primordiale d'informations sur les techniques picturales utilisées depuis des siècles. Mais ces recettes sont innombrables et parfois parcellaires. C'est pourquoi, les analyses sont souvent le seul moyen d'obtenir des informations sur les recettes utilisées. Or la connaissance et la documentation des œuvres d'art, ainsi que l'étude et la recherche de leur matérialité nécessite souvent d'être le moins invasif possible.

La stratégie analytique présentée ici vise à maximiser l'information obtenue sur les œuvres d'art tout en minimisant le nombre d'échantillons prélevés à des fins d'étude ou de recherche. Cette évolution des examens scientifiques vers l'objectif d'une invasivité minimale s'inscrit dans la déontologie minimaliste des interventions de conservation-restauration.

Après discussion avec les élèves restaurateurs pour connaître leurs questionnements et leur études historique et technique préalables, de premiers examens non-invasifs des œuvres sont réalisés. L'imagerie scientifique ainsi que la spectrométrie de fluorescence des rayons X sont utilisées afin d'obtenir de premières pistes de compréhension de l'œuvre, mais aussi identifier les meilleures localisations pour réaliser des micro-prélèvements pour la réalisation de coupes stratigraphiques.



Résultats obtenus sur une coupe stratigraphique de peinture : image MEB (gauche), carte couleur par aire de pic mesurée par μ -ATR-IRTF en mode *ATR imaging* (milieu), résultats des tests microchimiques observés au microscope (droite)

Ces coupes stratigraphiques sont tout d'abord observées par les élèves sous microscopes. Ces observations confirment les premières hypothèses ou apportent de nouvelles questions/réflexions sur les différentes strates identifiées.

La partie analyse se déroule ensuite en trois étapes sur ce seul et même échantillon selon les demandes d'analyses formulées par l'étudiant. Elle commence par une analyse par microscopie électronique à balayage équipée d'un détecteur de rayons X à dispersion d'énergie pour identifier la composition élémentaire des phases minérales présentes. Les échantillons inclus dans de la résine non-conductrice ne sont pas métallisés permettant ainsi de réutiliser l'échantillon pour la suite de cette stratégie analytique.

Elle passe ensuite par l'identification de la nature des matériaux organiques et inorganiques par micro-ATR-IRTF. La capacité de cette technique analytique à identifier la nature des liants dans des couches de peinture spécifiques a été démontrée dans plusieurs études. Mais ces dernières ont également mis en avant certaines de leurs limites qui peuvent être liées à la technique elle-même mais aussi à la préparation de l'échantillon et/ou à l'échantillon lui-même. Il est donc parfois difficile d'obtenir une interprétation claire des spectres infrarouge obtenus.

Des tests microchimiques, enseignés aux élèves, sont enfin réalisés afin de confirmer ou infirmer les résultats obtenus par micro-ATR-IRTF. Le protocole permet, sur une même coupe stratigraphique, de tester par exemple la présence de protéines et/ou huiles.

Cette étude souhaite mettre en lumière que la collaboration entre les différentes branches et disciplines permet aux analyses de prendre sens et est un moyen privilégié pour apporter une compréhension éclairée des techniques du passé qui peut, par la suite, être mise à la disposition du public qui s'intéresse à ces études.

PRÉSENTÉ PAR :

Elsa PERRUCHINI, est ingénierie d'étude en physique-chimie, spécialisée en chimie organique, au Laboratoire de recherche de l'Institut national du patrimoine (InP), établissement d'enseignement supérieur du ministère de la culture formant les conservateurs et restaurateurs du patrimoine habilités à travailler sur les collections publiques. Service d'appui à la pédagogie, le laboratoire a deux missions principales. L'une d'elles consiste à participer activement à l'enseignement des matières scientifiques et à l'encadrement des élèves dans la réalisation de leurs projets. Parallèlement, l'équipe du laboratoire développe et apporte l'expertise scientifique et technique nécessaire à la constitution des dossiers scientifiques préalables à la restauration.

Chloé RANCHOUX est ingénierie d'études en physique-chimie, spécialisée dans les matériaux inorganiques, au Laboratoire de Recherche de l'Institut National du Patrimoine (INP).

Bergl Revised: Non-invasive technological Investigations of the Wall Paintings in the Imperial Hofburg in Vienna.

Bergl révisé : Investigations technologiques non invasives des peintures murales dans les appartements impériaux de la Hofburg à Vienne.

— Andreas SCHRETTAUSER¹ — Beate SYPEK² —
Martin SIENNICKI³

Keywords: wall painting, secco-technique, 18th century,
Vienna, non-invasive investigations

Corresponding author: andreas.schretthauser@uibk.ac.at

The idea of uniting all the beauties of a terrestrial paradise, overcoming spatial boundaries of built architecture and bringing the outside world into the interior formed the basis for the wall paintings of the so-called Garden Rooms by the Bohemian painter Johann Wenzel Bergl (1719–1789). As one of the most significant painters under Empress Maria Theresa, Bergl created expansive, illusionistic landscape murals for the Viennese Imperial Court, reflecting the 18th century longing for paradisaical places and unknown worlds.

Bergl drew inspiration from the remarkable tapestries designed by Albert Eckhout (1610–1665) for the renowned Manufacture des Gobelins in Paris. He incorporated elements from these works into his own murals depicting the fauna and flora of

¹ University Innsbruck, Unit of Material Technology Innsbruck (MTI), Innsbruck, Austria / 2 Academy of fine Arts Vienna, Institute for Conservation – Restoration (IKR), Vienna, Austria / 3 Schloß Schönbrunn Kultur- und Betriebsges.m.b.H, Scientific Departement, Vienna, Austria

South America. Evidence of Bergl's technical mastery can be seen in his use of fresco and secco techniques, and in his ability to work on different surfaces to create spatial designs. His work on Garden Rooms reached its zenith between 1762 and 1774, during which period he received commissions from Empress Maria Theresa and several monasteries in Austria. The murals in the Hofburg in Vienna, completed in 1766, represent an early work of this period.

Despite his significant contributions, Bergl has received far less attention from art historians than his contemporaries. With the exception of a thesis from the 1960's, a comprehensive monograph on his oeuvre remains absent. In 2019, Bergl was honoured with a jubilee publication to mark his 300th anniversary. Since 2023, a research project has investigated Bergl's working technique using mainly non-invasive methods. In addition to instrumental analyses such as Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR Spectroscopy), as well as microscopic examinations using light and scanning electron microscopes (SEM), non-invasive methods such as X-ray fluorescence analysis (XRF), hyperspectral (HSI) and multispectral (MSI) imaging were applied.

New details about Bergl's palette of pigments and painting methods have been uncovered through extensive on-site observations and archival research, including the study of historical photographs and restoration reports, combined with non-invasive HSI and MSI methods. The research revealed that the secco murals in the Hofburg underwent extensive overpainting over the centuries, significantly reducing the amount of original material. While these overpaintings continue Bergl's artistic vision, they have also shaped the murals' current appearance. Full-surface ultraviolet (UV) imaging has played a key role in identifying the extent of these overpaintings, revealing striking yellow fluorescence of varying intensity and brushstroke style, ranging from broad overpainting to stippling.



Detail of J.W. Bergl's mural in the Imperial Hofburg Vienna, UV light.
Revealing overpaintings through yellow fluorescence phenomena.

Comparing the paintings in daylight, in UV- and infrared light with black-and-white photographs from the mid-twentieth century made it possible to identify details obscured by the overpainting realised in the second half of the twentieth century. These overpaintings were created after the photographs were taken. HSI was particularly effective in identifying pigments, revealing the use of traditional wall-painting pigments such as ochre, cinnabar red, caput mortuum, green copper pigments (likely malachite or verdigris) and ultramarine blue. The presence of nineteenth-century pigments, such as cobalt-based blue and chrome oxide green, also confirmed later interventions.

The Bergl murals at the Hofburg in Vienna present a complex conservation challenge that has been better understood through non-invasive methods and archival research. These findings have formed the basis for discussions about the future conservation of Bergl's paintings. The research team plans to extend its investigations to other works by Bergl, such as those at Schönbrunn Palace.

PRESENTED BY:

Andreas SCHRETTHAUSER studied wall painting conservation at the Academy of Fine Arts Vienna and art history at the Universities of Innsbruck and Vienna. In 2024 he received the Academy's Prize (Würdigungspreis) for his diploma thesis on the art-technological analysis of Johann Wenzel Bergl's Hofburg murals. His interdisciplinary research interests focus particularly on wall paintings and stucco decorations from the 17th and 18th centuries. Currently, he is a doctoral candidate in Materials Science in Heritage Conservation at the University of Innsbruck. The focus of his research is on binder systems in mortars used for wall paintings and stucco decorations in the Alpine region, as well as their preservation.

Radiographie d'un chef-d'œuvre de la Maison Worth : la Robe aux lys sous toutes les coutures.

X-Ray radiography of a masterpiece by Worth: the *Lily dress* from every angle.

— Anastasia OZOLINE¹ — Elsa LAMBERT²

Mots-clés : radiographie, Worth, histoire de la restauration, soie chargée

Autrice correspondante : anastasia.ozoline@paris.fr

Le Centre de recherche et de restauration des musées de France (C2RMF), service à compétence nationale du ministère de la culture, a pour mission d'apporter son expertise dans les domaines de la conservation-restauration d'œuvres muséales et d'améliorer la connaissance des matériaux et des savoirs faire par le biais de travaux de recherche. Chaque année, de nombreuses pièces des collections des musées de France transitent par le C2RMF pour y être étudiées, analysées et/ou restaurées.

La radiographie est un examen clé pour la réalisation d'un constat d'état précis d'une œuvre et la compréhension de ses techniques de fabrication. Les rayons X, grâce à leur capacité à traverser la matière peuvent donner à voir des informations inaccessibles par une simple observation visuelle.

Radiographier la *Robe aux Lys* n'a pas été une chose commune. En effet, sa fragilité imposait des contraintes de manipulation et la souplesse du tissu ainsi que la faible densité des matériaux nous ont conduit à mettre en place un protocole particulier pour réaliser cet examen.

¹ Palais Galliera, Paris, France / ² Centre de recherche et de restauration des musées de France (C2RMF), Palais du Louvre, Paris, France

Pour les restauratrices de l'atelier de restauration du Palais Galliera, les attentes étaient à la fois d'évaluer l'état de conservation des différents tissus (satin, velours de soie) et des éléments décoratifs mais également d'en apprendre davantage sur une intervention réalisée sur la robe aux Etats-Unis et dont l'ampleur n'était pas bien documentée.

Notre poster décrira le protocole de radiographie mis en oeuvre et présentera les résultats révélés aux rayon X, aussi précis que précieux pour la connaissance de l'histoire de la robe.



Robe aux Lys de la Maison Worth,
collection du Palais Galliera.

PRÉSENTÉ PAR :



Elsa LAMBERT est ingénieur d'études au C2RMF, spécialisée en radiographie des objets du patrimoine. Arrivée au C2RMF en 2001, elle a travaillé pendant 11 ans en photographie scientifique des peintures de chevalet (UV, infrarouge, réflectographie, lumière rasante) avant de se former en interne en 2012 à la radiographie des objets d'art et d'archéologie. Elle effectue la radiographie de la plupart des objets qui entrent au C2RMF mais également sur site lorsque les œuvres sont trop grandes ou trop fragiles pour être déplacées. Ses compétences couvrent les domaines de la radiographie et de la tomographie (radiographie 3D).

Anastasia OZOLINE est restauratrice textile. Diplômée de l'Inp en 1998 en archéologie textile, elle effectue une post-formation à l'IRPA à Bruxelles puis est en poste au musée de La Piscine à Roubaix où elle participe à la création de l'atelier de restauration, de la tissuthèque et des réserves. En 2001, elle devient responsable de la restauration des textiles archéologiques au musée Benaki d'Athènes pendant 10 ans. Elle travaille ensuite au Louvre, au Trésor du cloître Saint-Trophime d'Arles, au musée des arts décoratifs et au CNAP avant d'être recrutée au Palais Galliera en 2015, avec une forte implication dans la transmission aux stagiaires et l'organisation de formations internes sur les techniques et les savoirs faire de la mode.

Les constats d'état numérisés : l'utilisation du scanner 3D pour la surveillance des œuvres d'art : un procédé innovant et non invasif pour un suivi précis.

Digitised condition reports: using a 3D scanner for works of art monitoring.

— Jean-Marie GUINARD¹

Mots-clés : constat d'état, scanner, numérique, comparaison automatique

Autrice correspondante : jmguinard@yahoo.fr

Après deux ans de développement en collaboration avec l'École nationale supérieure des arts et métiers (ENSA), nous avons mis au point une technologie de numérisation 3D permettant de réaliser des constats d'état précis d'œuvres d'art, notamment des meubles et des statues, sans aucun contact avec l'objet. Cette approche ne nécessite ni l'application de cibles adhésives, ni l'utilisation de matifiant, garantissant ainsi l'intégrité des œuvres scannées.

Grâce à une précision de 0,2 mm (soit l'équivalent de deux épaisseurs de cheveux), les tests en laboratoire ont démontré notre capacité à détecter des déformations minimes, telles que la déformation d'un panneau de 0,2 mm ou un enfoncement de la taille d'une tête d'épingle.

Nous avons par exemple testé notre méthode en plaçant des cales étalons de 0,15 à 0,7 mm sur un marbre de meuble, puis

¹ Restauration de meubles Guinard, Le Ban-Saint-Martin, France

en réalisant un scan avant et après la mise en place des cales et nous avons comparé les deux scans. L'analyse a permis de détecter ces différences infimes avec une bonne précision.

Nous présenterons deux applications principales de cette technologie. La première concerne la surveillance de l'évolution des œuvres dans le temps. Cette méthode permet un suivi précis de la stabilité structurelle des meubles et objets d'art. Un premier scan est réalisé à une date donnée, puis un second à un intervalle défini avec le propriétaire. La comparaison automatisée des deux numérisations permet d'identifier des déformations infimes imperceptibles à l'œil nu, mais pouvant être des signaux d'alerte précoce, tels que : le risque d'une fente d'un panneau ou un début de soulèvement de placage. Grâce à ces analyses, il devient possible d'intervenir préventivement en ajustant les conditions de conservation, notamment l'hygrométrie et l'environnement de stockage, afin d'éviter toute détérioration ultérieure.

La seconde concerne le constat d'état avant et après transport d'œuvres d'art. Lors du convoiement d'œuvres précieuses, nous réalisons un scan avant l'emballage, puis un second après le transport et le déballage. La comparaison automatique permet d'identifier avec précision les altérations : déformation d'un panneau, enfouissement, éclat minimes.

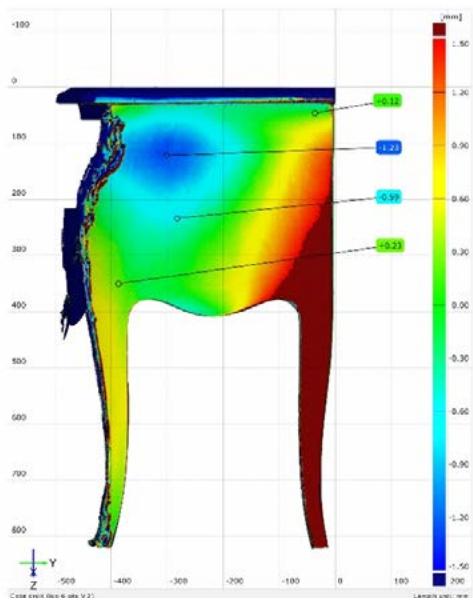
Les avantages de cette approche résident d'une part dans sa précision car elle permet la détection de dommages imperceptibles ou difficiles à voir à l'œil nu. D'autre part, il s'agit d'une analyse systématique et objective car la comparaison numérique garantit une évaluation rigoureuse et élimine toute subjectivité.

Pour démontrer la précision de notre méthode, nous avons réalisé une expérience sur une commode récente. Un premier scan a été effectué à l'état initial. Un vérin mécanique a ensuite été installé à l'intérieur pour créer une déformation contrôlée de 0,2 mm sur le panneau latéral. Puis, un second scan a été réalisé pour comparer les données. Les résultats

obtenus montrent que la déformation du panneau est clairement visible. Le mouvement des pieds de la commode est aussi observable. Cet essai confirme la capacité de notre scanner 3D à identifier des variations structurelles invisibles à l'œil nu, rendant possible une intervention préventive avant l'aggravation des dommages.

Nous avions déjà utilisé une technologie similaire pour analyser les déformations mécaniques des bibliothèques de la Galerie de Diane au Château de Fontainebleau. Nous avions réalisé un scan initial d'une des seize bibliothèques avant la dépose des ouvrages. Puis, une analyse géométrique complète pour cartographier l'état structurel initial été effectuée suivi d'une mesure des écarts après dépose des livres avec des moyens traditionnels. Grâce aux résultats obtenus, une proposition de solutions pour limiter ou éliminer ces déformations a pu être formulée. Cette intervention a permis une compréhension approfondie des contraintes mécaniques affectant le mobilier et de définir les modifications à apporter pour éviter les déformations à l'avenir.

En conclusion l'utilisation du scanner 3D pour la conservation et la surveillance des œuvres d'art représente une avancée en matière de préservation du patrimoine. Cette méthode possède plusieurs atouts clés. Il s'agit d'une méthode non invasive qui respecte l'intégrité des œuvres. Sa précision scientifique de détection est extrêmement fine. Elle permet une prévention des dégradations par un suivi rigoureux et un contrôle des conditions de conservation. Enfin, elle peut être utilisée pour la sécurisation des transports grâce à une comparaison détaillée avant/après convoiement.



Visualisation de la déformation d'une commode par scan 3D

PRÉSENTÉ PAR :



Jean-Marie GUINARD est gérant de la société Restauration de Meubles Guinard. De formation initiale ingénieur Arts et Métiers, il décide, après 20 ans dans l'industrie, de se consacrer à sa passion : la restauration du patrimoine. Formé à la restauration de mobilier d'art, il a repris une entreprise artisanale. Sa société est notamment intervenue à la cathédrale de Chartres, aux châteaux de

Chambord et de Fontainebleau et au collège royal de Thiron Gardais. Depuis deux ans, lui et ses collaborateurs se consacrent à l'intégration des technologies du numérique dans la restauration du patrimoine, comme le Scanner 3D pour l'analyse des œuvres et la commande numérique pour l'usinage de formes complexes.

FTIR and SEM as complementary techniques? Assessment of their effectiveness in studying polyester fiber degradation in *Cascada*, a contemporary installation.

IRTF et MEB comme techniques complémentaires ? Evaluation de leur efficacité pour l'étude de la dégradation des fibres polyesters de *Cascada*, une installation contemporaine.

— Sofía Terán MARTÍNEZ¹

Keywords: polyester, fibers, installation, SEM, FTIR

Corresponding author: teranm.sofia@gmail.com

Marta Palau's *Cascada* (from 1978) is an emblematic artwork within contemporary Mexican art. It is an indoor installation that consists of 100 woven nylon and polyester strips suspended in a semi-circular tube; emulating a giant ecstatic waterfall. Between 2021 and 2024, a Bachelor's degree project was carried out focusing exclusively on understanding how polyester fibers were degrading. This scope was selected because in a previous review of the artwork, conservation students from the National School of Conservation in Mexico (ENCRyM–INAH) found that the material had developed an unexpected sticky texture, an unusual alteration for polyester.

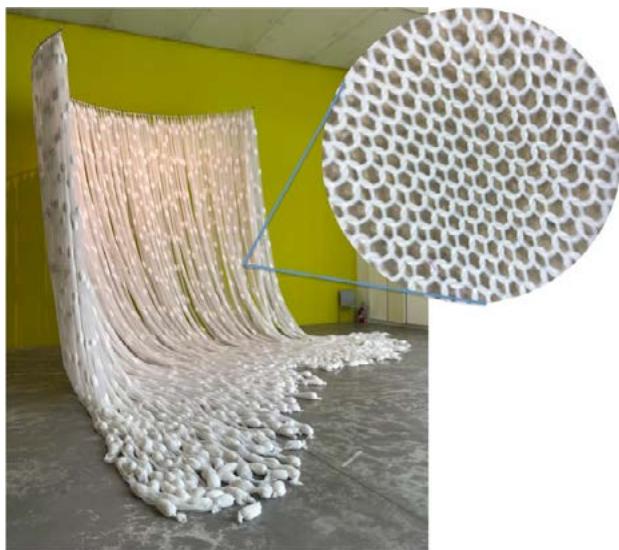
¹ University's Contemporary Art Museum (MUAC–UNAM), Mexico

The first stages of the research highlighted critical gaps in conservation science like: the generalized belief that polyester does not age, the lack of studies on polyethylene terephthalate (PET) fiber degradation as constitutive material of artworks in controlled environments and the limited accessibility of advanced analytical methods. Considering these challenges, and the restrictions imposed during the second wave of the SARS-CoV-2 pandemic, Scanning Electron Microscopy (SEM) and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) were selected as the analytic techniques to study the material.

These methods were used to examine fiber surfaces to identify potential coatings or finishes and determine whether their degradation contributed to the sticky texture observed. SEM allows a detailed assessment of surface alterations, while FTIR enables the non-destructive identification of molecular structures, providing insight into potential chemical changes. Although both techniques are widely used in conservation science, they are not always applied together for synthetic polymeric textile studies. Therefore, the objective of this work is to present the findings on the degradation of *Cascada*'s polyester strips, emphasizing the advantages and limitations of combining SEM and FTIR for conservation purposes, defining whether they are complementary techniques and evaluating their relevance as pre-analyses for an AFM-IR study.

The analyses revealed that *Cascada*'s polyester fibers exhibited a similar preservation state despite differences in exposure conditions. Both SEM and FTIR confirmed the absence of surface coatings or manufacturing modifications, while hydroxyl (-OH) groups were detected in samples washed during a previous conservation project (in 2019). SEM images showed localized deterioration—fissures, micro-vesicles, and surface roughness—indicating an early stage of polymer degradation likely linked to molecular chain breakdown, which could explain the sticky texture observed.

The combined use of SEM and FTIR proved essential as an initial methodological approach to characterize and interpret polyester's alteration effects. While neither technique alone provides a complete picture, together they offer complementary visual and molecular data that establish a solid foundation to start understanding the polymer deterioration before employing advanced analytic methods. The results challenge the long-held assumption that polyester remains stable in controlled museum environments and reveal undocumented degradation phenomena. This study underscores the importance of integrating accessible analytical methods into conservation practice. By recognizing the diagnostic potential of SEM and FTIR for synthetic materials, conservators can optimize resources, refine methodologies, and expand the understanding of plastics behavior, contributing to more informed and sustainable strategies for preserving contemporary artworks.



Cascada, Marta Palau, 1978, Contemporary Art Museum (MUAC–UNAM).

PRESENTED BY:



Sofía TERÁN is a recent graduate conservator from the National School of Conservation, Restoration and Museography (ENCRyM–INAH) in Mexico. She specializes in modern and contemporary art and currently works as an assistant conservator at the University's Contemporary Art Museum (MUAC–UNAM). She is passionate about installation art and the study of synthetic polymeric materials. Her bachelor's thesis focused on researching the degradation process of the polyester fibers in *Cascada*, a 350-meter-high fabric installation that emulates a static waterfall. In recent years, she has participated in several national and international conferences, promoting research on contemporary materials.

Histoire du suivi et de la restauration d'un panneau de bois peint du patrimoine.

History of the monitoring and restoration of a painted wooden panel.

— Delphine JULLIEN¹ — Marina BOUSVAROU² —
Jean-Christophe DUPRÉ³ — Lorenzo RIPARBELLI⁴ —
Cécilia GAUVIN⁵ — Joseph GRIL⁶

Mots-clefs : bois, patrimoine, hygromécanique, restauration

Autrice correspondante : delphine.jullien@umontpellier.fr

Les restaurateurs et conservateurs spécialisés dans le mobilier possèdent une solide expérience du vieillissement du bois. Leurs décisions en matière de restauration s'appuient sur leur formation initiale (comme celle d'un ébéniste), leur vécu professionnel, ou les échanges avec leurs pairs via constats d'état ou discussions.

Les chercheurs en mécanique du bois, quant à eux, abordent le matériau avec des outils scientifiques : lois de comportement, caractéristiques physiques, géométrie des structures, conditions de chargement, et interactions avec l'environnement. Ces deux approches se rejoignent autour d'un même objet, rendant l'interdisciplinarité essentielle (Bousvarou *et al.*, 2020).

Dans ce cadre, les chercheurs proposent des outils variés : check-lists, modèles numériques, dispositifs d'essais pour évaluer l'état mécanique d'un panneau ou mesurer l'impact d'une restauration. C'est ainsi qu'un projet collaboratif a été lancé en

¹LMGC, université de Montpellier – CNRS, Montpellier, France / ²Musée Fabre, Montpellier, France / ³Institut PPRIME, UPR 3346, université de Poitiers- CNRS, Poitiers, France / ⁴DAGRI, University of Florence, Florence, Italy / ⁵SMACH, Sainte-Cécile-Les-Vignes, France / ⁶Université Clermont-Auvergne, CNRS, Sigma Clermont, Institut Pascal, Clermont-Ferrand, France



Présentation de l'œuvre équipée de son dispositif expérimental, exposition *Dans le Secret des Œuvres d'Art*, Musée Fabre, 2018.

septembre 2016 entre le musée Fabre de Montpellier, l'institut PPrime (université de Poitiers-CNRS), le DAGRI (université de Florence) et le LMGC (université de Montpellier-CNRS).

Ce projet vise à suivre les déformations et la variation de masse d'un panneau de bois peint soumis à des conditions hygrothermiques contrôlées, avant et après restauration. Il s'inscrit aussi dans une démarche de sensibilisation du public à la conservation des œuvres, avec des expérimentations réalisées *in situ* dans le parcours permanent du musée. Cette démarche a été présentée lors de l'exposition « *Dans le secret des œuvres d'art* » en 2018 (Bousvarou, Stepanoff, 2018).

Un dispositif non invasif constitué d'une vitrine régulée en humidité, d'une balance, et de quatre caméras pour suivre les déformations des deux faces du panneau, a été installé dans la salle du Jeu de Paume. L'objectif était double : recueillir des données mécaniques et les rendre accessibles au public.

La restauration du panneau a eu lieu en 2017 : dé-parquage, conception d'un nouveau châssis-cadre fixé à l'arrière avec des ressorts pour limiter les contraintes dues aux variations d'humidité. Le comportement du panneau a été observé à chaque étape, sur une période de sept ans (Dupré *et al.*, 2020), (Jullien, Dupré *et al.*, 2023). Aujourd'hui, il est exposé dans la salle Rubens du musée Fabre, sans soulèvements visibles.

Cette démarche sera présentée à deux voix : celle du restaurateur et celle du chercheur, pour illustrer les échanges, les interrogations et les méthodes de collaboration entre disciplines (Bousvarou *et al.*, 2023), (Jullien, Gauvin *et al.*, 2023).

PRÉSENTÉ PAR :



Delphine JULLIEN est Professeur des Universités, au sein de l'équipe Bois du LMGC, équipe dont elle est responsable depuis 2017. Ses recherches concernent la mécanique du bois, la conservation des objets en bois du patrimoine culturel en étroite collaboration avec les restaurateurs. En parallèle, ses recherches ont pour objet de caractériser le comportement d'échantillons de bois lors de retrait/gonflement empêchés ; elle s'intéresse également à la diversité des propriétés des bois, notamment vis-à-vis de l'humidité, et l'influence de ces propriétés lors de l'utilisation de ces bois en structure, telle que des ruches.



Marina BOUSVAROU a obtenu un master en conservation en 2002, à Athènes, en Grèce. Elle a ensuite travaillé en France avec l'association Restaurateurs sans Frontières, le Centre interrégional de conservation du livre à Arles et en tant que régisseur au musée d'art moderne de Céret. Depuis 2009, elle travaille au musée Fabre comme responsable du département de la conservation. En 2015, elle obtient un financement pour un programme de recherche innovant sur le comportement mécanique d'un panneau de bois du XVI^e siècle. Elle coordonne depuis diverses recherches au musée Fabre en étroite collaboration avec les chercheurs spécialisés dans le comportement mécanique du bois.

