

# PROJET D'ACTIVITÉS 2023

Centre Interdisciplinaire de Conservation  
et de Restauration du Patrimoine



# SOMMAIRE

<b>PERSPECTIVES .....</b>	<b>5</b>
<b>ASSISTANCE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE EN CONSERVATION PRÉVENTIVE ET EN CONSERVATION-RESTAURATION .....</b>	<b>9</b>
Assistance sur site	10
Accueil d'œuvres en restauration	13
<b>PROGRAMMES DE RECHERCHE.....</b>	<b>23</b>
Programmes de recherche en cours	24
Nouveaux programmes de recherche	44
<b>PROGRAMME D'INVESTISSEMENTS D'AVENIR : EQUIPEX+ ESPADON .....</b>	<b>49</b>
En Sciences du Patrimoine, l'Analyse Dynamique des Objets anciens et Numériques (ESPADON)	50
<b>LABCOM .....</b>	<b>53</b>
AIOLI	54
Ortho-photogrammétrie sous différents rayonnements de parois verticales internes par drone	55
<b>FORMATIONS PROPOSÉES PAR LE CICRP .....</b>	<b>57</b>
L'imagerie documentaire et scientifique en conservation-restauration	58
Croqueurs de Patrimoine : aide au diagnostic	59
<b>VALORISATION .....</b>	<b>61</b>
La base de données de gestion et de documentation Pierre Puget	62
PierreSud	63
Partenariat avec les académies d'Aix-Marseille et de Nice	64
Mise en place d'un référentiel matériaux par l'imagerie	65
 Liste des sigles et acronymes	 67

# PERSPECTIVES

---

L'année 2022 a été emblématique et déterminante à bien des égards.

Emblématique car ce fut l'année des 20 ans du CICRP que Roland May, directeur de cet établissement de 2007 à 2022, a pensé comme un moment de bilan. Pour être lisible et utile au rayonnement du CICRP, ce bilan devait prendre la forme pérenne d'une publication de synthèse, en l'occurrence un livre de 192 pages édité chez MKF (Paris). Ce livre donnera à voir l'histoire du CICRP depuis sa création il y a 20 ans ainsi que sa progressive structuration administrative et scientifique. Il viendra également éclairer l'identité de ce centre consacré à la conservation-restauration du patrimoine ainsi que sa place dans le paysage national et international des sciences du patrimoine.

Déterminante car ce bilan a offert la perspective nécessaire pour amorcer un projet de réorganisation, pierre angulaire du projet de développement incombant à la nouvelle direction à compter de 2023. Cette première étape de réorganisation a porté sur la composition de l'équipe et son déploiement dans les locaux mais a également revêtu un aspect administratif.

Réorganisation fonctionnelle et topographique des services, accompagnant l'accroissement du corps des scientifiques. Le bâtiment A rassemble désormais la direction et les services administratifs ainsi que les conservateurs et documentalistes. Le bâtiment B est dédié au personnel scientifique et aux équipements, répartis par domaines thématiques entre les premier et second étages. Le bâtiment D demeure consacré aux ateliers de restauration et au service de régie des œuvres et gestion des équipements.

Renouvellement de l'équipe avec le départ de Roland May en juillet 2022, puis de Jean Fouace en novembre, responsable du pôle scientifique depuis 2015. Cette conjonction de départs au sommet de la hiérarchie du CICRP a nécessité la mise en place d'un intérim. La nouvelle directrice du CICRP, Dominique Vingtain, a pris ses fonctions le 3 octobre 2022. Le pôle administratif a également entamé une mutation avec le départ de l'administrateur Jean Rongier et la transformation du poste de secrétaire générale occupé par Isabelle Locoge en poste de directrice adjointe, qui a assuré l'intérim de direction du 10 juillet au 3 octobre. Le pôle pierre a été renforcé grâce à l'arrivée de nouveaux scientifiques permettant une montée en puissance de l'assistance scientifique et technique dans le domaine du patrimoine bâti depuis 2021. L'arrivée de Jérémie Berthonneau, ingénieur de recherche, en janvier 2022 a permis de renforcer la capacité de réponses aux demandes d'intervention dans ce domaine en l'enrichissant de compétences complémentaires en bétons et mortiers. L'arrivée de Nathalie Gandolfo, assistante ingénieure, a permis de relancer l'activité de l'atelier des lames minces.

Ces transformations ne sont que le préambule de nombreux départs à la retraite dans les cinq années qui viennent, concernant en particulier les scientifiques de l'équipe, dont certains sont en poste depuis le premier mandat du GIP et font partie de l'équipe fondatrice du CICRP.

En dépit des difficultés conjoncturelles, l'activité du CICRP s'est maintenue en 2022.

Dans le domaine de l'assistance scientifique et technique en conservation préventive et conservation-restauration, la multiplicité des demandes révèle l'étendue des compétences du CICRP tant du point de vue chronologique – du patrimoine contemporain à l'Antiquité – que de son rayonnement régional et national. L'assistance à titre gracieux pour les collectivités en région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur se maintient avec parallèlement de nombreuses demandes émanant d'autres régions. Une convention spécifique passée avec la CRMH de la région Occitanie a suscité de nombreuses demandes d'intervention. Outre les interventions sur les peintures murales, un des domaines où la notoriété du CICRP est grande, on notera le maintien de l'assistance en conservation de sculptures monumentales. Plus de 70 rapports d'intervention et d'études (bilan provisoire à la mi-octobre) ont été rédigés et adressés aux maîtres d'ouvrage.

L'accueil d'œuvres en restauration au sein des ateliers du CICRP a cependant subi le contrecoup de la crise sanitaire et de son cortège de difficultés pour les collectivités territoriales, entraînant de nombreux reports sur 2023. En effet, seules 39 œuvres nouvelles sur 116 programmées initialement ont pu

être accueillies en 2022. Pour 2023, l'accueil de 120 tableaux est déjà programmé, sachant que d'autres demandes interviendront au fil des mois. Nombre de ces œuvres seront étudiées et restaurées en vue de l'exposition Jean Daret (1616-1668) organisée par le musée Granet d'Aix-en-Provence pour l'été 2024. Cela constituera un temps fort de l'activité du CICRP tant du point de vue de la restauration que de la recherche.

Dans le domaine de la recherche, la diversité des projets montre l'ampleur des partenariats du CICRP avec les institutions nationales dédiées à la recherche, qu'il s'agisse du CNRS, de l'université ou du ministère de la Culture, avec ce souci constant de s'engager sur des programmes susceptibles de répondre à des problématiques de conservation-restauration et de connaissance des objets patrimoniaux. Pour 2023, ce ne sont pas moins de trente projets que le CICRP porte ou auxquels il participe, projets qui dans la majorité des cas font l'objet de financements extérieurs. Ils couvrent un champ très vaste qui va de la caractérisation des matériaux et de leurs dégradations à la conception de nouveaux outils d'acquisition de données ou de traitement jusqu'à la création d'objets patrimoniaux augmentés.

Enfin, le renouvellement du GIP pour le mandat 2022-2027 donne un cadre ferme à la nouvelle direction pour penser et mettre en œuvre les évolutions nécessaires du CICRP au vu des mutations de l'équipe, tant en ce qui concerne les ressources humaines que les compétences scientifiques la composant. Il convient de souligner le soutien indéfectible des quatre partenaires du GIP que sont l'Etat, la ville de Marseille, la Région Sud PACA et le Département des Bouches-du-Rhône. Cette confiance renouvelée au vu du travail accompli s'est traduite en 2022 par une augmentation de certaines contributions des partenaires, aboutissant à une augmentation des contributions de plus de 175 000 euros en 2023, d'autant plus exceptionnelle qu'elle se situe dans une période de crise.

En 2022, l'ambition fut de dresser le bilan d'un GIP consacré à la conservation-restauration du patrimoine et de porter sur les fonds baptismaux le nouveau mandat 2022-2027. Le dernier trimestre 2022 sera le temps de mise en place de la nouvelle direction, déjà amorcé par des entretiens individuels avec chacun des trente membres de l'équipe (dont vingt sont titulaires).

Fondée sur cet héritage, 2023 sera l'année de l'élaboration d'un projet d'établissement définissant l'avenir du CICRP pour la décennie à venir. Ce projet d'établissement sera mis en œuvre de manière collégiale au sein du CICRP. Il consistera notamment à élaborer une stratégie permettant d'anticiper les départs à la retraite, à produire un organigramme assorti de nouvelles fiches de postes, à actualiser le règlement intérieur, les procédures, etc. La réflexion portera sur les objectifs et les modalités de développement des deux pôles de missions du CICRP que sont l'assistance et la recherche. Ce travail conduit en interne se fondera sur les attentes des quatre partenaires du GIP et sur les prescriptions du ministère de la Culture mais il devra également se nourrir d'échanges institutionnels avec les autres grands acteurs des vastes champs disciplinaires de la conservation-restauration et des sciences du patrimoine. Le renouvellement du conseil scientifique comptera parmi les facteurs de réussite de ce nouveau projet d'établissement.

\* Les sigles et acronymes marqués d'un astérisque sont explicités dans la liste p.67-68.

**ASSISTANCE SCIENTIFIQUE  
ET TECHNIQUE EN  
CONSERVATION PRÉVENTIVE  
ET EN CONSERVATION-  
RESTAURATION**

---

## ASSISTANCE SUR SITE (MONUMENTS HISTORIQUES, SITES ARCHÉOLOGIQUES, MUSÉES DE FRANCE)

Ce volet de l'assistance scientifique et technique touche principalement les monuments historiques, immeubles et objets, pour des interventions menées sur site. Les demandes émanent soit de conservations régionales des monuments historiques, soit de collectivités territoriales. Le CICRP assure ses missions en phase d'étude, pour des caractérisations de matériaux et d'altérations et l'évaluation des conditions de conservation, et pendant les chantiers de restauration.

1. **L'étude et la conservation préventive**, pour des interventions orientées vers le diagnostic et le conseil, qui se déclinent dans plusieurs spécialités du CICRP :

- Biologie-entomologie, pour les infestations d'espaces, de mobiliers et de collections : sans pouvoir donner un prévisionnel pour 2023, les demandes d'assistance étant le plus souvent adressées au CICRP à l'occasion de constats de désordres, on sait qu'il y aura des sollicitations. Il convient de souligner que la notoriété du CICRP, seul centre français disposant de cette compétence, est très importante dans ce domaine, ce dont témoigne la convention signée avec le musée du Louvre.

- Pierre, en lien avec des bâtiments, des sites ou des objets archéologiques et des collections lapidaires : ce dernier volet a vu le jour par des demandes de CRMH\*, notamment celle d'Occitanie à la suite d'interrogations sur des œuvres sculptées attribuées à des ateliers locaux du Moyen Âge ou de la Renaissance. En 2023, le CICRP interviendra sur une statue de Vierge de la cathédrale de Tarbes attribuée au maître de Rieux (XIV<sup>e</sup> siècle) et, en partenariat avec le LRMH\*, sur les matériaux de la clôture du chœur des chanoines de la cathédrale Sainte-Cécile d'Albi, dont la sculpture présente des similitudes avec des œuvres de Lavaur et de Rodez.

- Décors peints : peintures monumentales tous supports et périodes, et certains décors spécifiques, comme les closoirs peints (éléments de certains plafonds médiévaux). Dans ce domaine, le CICRP est sollicité en 2023 sur deux dossiers initiés en 2021 et 2022 : l'accompagnement en conservation du projet touchant les peintures murales romanes de l'abside de l'église de Montgauch (Ariège), axé sur les interactions entre les peintures et les travaux sur la voûte réalisés notamment au cours du XX<sup>e</sup> siècle et, pour la reprise depuis 2021 d'une série d'interventions plus anciennes, le suivi de l'état de conservation des closoirs peints du cloître de la cathédrale de Fréjus. En 2023, le CICRP poursuivra le suivi des travaux de l'agence Studiolo, qui y conduit une campagne de mesures climatiques, et celui de l'étude préalable à la restauration, à la suite des essais de consolidation et de régénération de zones blanchies menés par une restauratrice sur des closoirs de référence.

Une assistance a été demandée au CICRP par la CRMH de Bourgogne-Franche-Comté concernant les problématiques de conservation-restauration des peintures à froid réalisées par Le Corbusier pour les vitraux de la chapelle Notre-Dame du Haut de Ronchamp. Les travaux d'analyse en cours et à venir visent à caractériser les techniques de peinture de Le Corbusier et à discriminer les restes de peinture originale des repeints ultérieurs afin d'adapter les protocoles de restauration, notamment sur les questions de nettoyage et de consolidation. Les résultats obtenus pourront ainsi être utilisés pour l'élaboration du cahier des charges de la restauration des peintures intérieures, prévue en 2024.

2. **La conservation-restauration**, pour une assistance sur des projets de restauration de monuments historiques, immeubles ou objets. Ce volet, destiné à aider les CRMH dans leur mission de

contrôle scientifique et technique, intéresse plusieurs spécialités du CICRP :

- La pierre, les mortiers et bétons, pour la conservation-restauration de maçonneries, d'élévations ou de sculptures monumentales. En 2023, le CICRP devrait intervenir sur la suite des dossiers de conservation des parements de la cathédrale de Fréjus (cathédrale et cloître) et des altérations de la pierre de la cathédrale de la Major à Marseille. L'assistance du CICRP sur les techniques de traitement des pierres de Barbentane et de Villeneuve, sur la tour de la Campana du Palais des Papes d'Avignon, se poursuivra également, tandis que le dossier de la restauration de la tour de l'Horloge du rempart de Fos-sur-Mer, qui avait mobilisé le CICRP en 2015, entrera dans une nouvelle phase. Toujours en Provence-Alpes-Côte d'Azur, le CICRP interviendra lors de la relance du projet de restauration des façades en ciments naturels du bâtiment des Douanes de Marseille. Le CICRP sera également présent en Corse sur des problématiques d'altérations de pierres et d'enduits, à la forteresse de Corte (le « Nid d'Aigle »).

L'assistance en conservation de sculpture monumentale reste un axe fort, et elle se poursuivra notamment en 2023 sur la conservation et le projet de remontage des arcs de la chapelle Saint-Lazare, due au sculpteur Francesco Laurana, dans l'ancienne cathédrale de Marseille. En Occitanie, le CICRP poursuivra à Toulouse ses interventions sur l'hôtel de Bernuy, au sein du conseil scientifique, et sur la sculpture du cloître des Augustins, en accompagnement du projet de restauration qui débutera en 2023, l'étude préalable déjà suivie par le CICRP étant achevée. Toujours à Toulouse, le CICRP a été sollicité pour une étude de provenance des matériaux et une assistance à la restauration de deux portes sculptées du XVI<sup>e</sup> et du XVII<sup>e</sup> siècles, provenant du Capitole, qui ont été remontées en 1886 dans le jardin des Plantes de la ville. Enfin, dans le Gers, le CICRP assistera la CRMH sur le projet de restauration du portail sud de la collégiale de Simorre, dont la sculpture présente d'importants problèmes de conservation.

- Les peintures murales, sur des opérations d'étude préalable et de restauration pour de l'imagerie, à finalité d'aide à la compréhension de l'œuvre et au diagnostic, ou sur des problématiques de conservation :

Pour 2023, on note la reprise de deux chantiers en Provence-Alpes-Côte d'Azur, celui du projet de restauration des décors peints de la cathédrale d'Orange, qui entre dans sa deuxième tranche de travaux, et celui du grand décor exécuté au XVII<sup>e</sup> siècle par le peintre Jean Daret dans la cage d'escalier de l'hôtel de Châteaurenard à Aix-en-Provence. Une nouvelle demande émise par la CRMH PACA concerne les peintures du XIV<sup>e</sup> siècle conservées dans l'ancienne abbaye Saint-Hilaire de Ménerbes dans le Vaucluse. Enfin, le CICRP intervient dans les conseils scientifiques formés pour la conservation et la restauration des peintures du Palais des Papes d'Avignon et du Palais Princier de Monaco. A Monaco, il apportera en 2023 une aide scientifique à l'équipe de restaurateurs intervenant au Palais pour la formulation de peintures aquarelles « vertes » adaptées à la réintégration des décors peints et à leur conservation.

En Occitanie, le CICRP devrait poursuivre l'assistance sur les décors de l'église de Montgauch, en Ariège, pour du conseil sur l'étude des désordres et de l'aide à la décision. La CRMH d'Occitanie a également sollicité une campagne d'imagerie technique et scientifique sur les peintures murales du château de Bioule, dans le Tarn-et-Garonne. Une dernière demande de la CRMH porte sur les peintures réalisées par l'artiste Dado dans un ancien chai viticole de Sérignan, le domaine des Orpellières, avec également une problématique sur les supports béton.

- Enfin, le CICRP devrait intervenir en 2023 pour du conseil sur la prise de vue de dégagements des premières peintures de la cité Frugès de Pessac, bâtie par Le Corbusier à la demande de l'industriel bordelais. Il participera aux études de colorimétrie destinées à assister la CRMH pour la

validation de peintures de restauration les plus proches possibles des teintes voulues par l'architecte. A la suite des travaux réalisés en 2018-2019, le CICRP suivra l'étude des échantillons recueillis (analyses réalisées par un laboratoire privé) pour affiner la connaissance et la documentation des peintures originales, sans qu'il soit envisagé de les reformuler à l'identique.

### Conclusion

L'arrivée d'une assistante ingénieure en novembre 2021 a relancé l'atelier de lames minces et permis de mieux répondre aux demandes régulières de caractérisation et de recherche de provenance des pierres. La nomination d'un ingénieur de recherche en janvier 2022 a renforcé l'activité monuments historiques, ouvrant plus largement l'activité du CICRP vers les mortiers et les bétons.

Parmi les développements récents, les accueils de sculptures en pierre (cheminée du château du Bosquet et portail d'albâtre de la villa Ephrussi de Rothschild à Saint-Jean-Cap-Ferrat, cités au chapitre suivant) présentent, par la complexité des remaniements successifs subis par la première, et par les conditions de conservation extrêmes en extérieur pour le second, des problématiques relativement inédites. Ils ouvrent également à partir de 2023 de nouveaux champs d'intervention dans le suivi des projets de numérisation et d'étude en histoire de l'art.

Pour conclure, il a été déjà souligné combien la qualité et la régularité des échanges avec les responsables des œuvres étaient un gage de réussite pour nos interventions. Plus précisément, la réunion de prise de contact et de connaissance du dossier sur site est à cet égard un moment clef de notre mission, et il importe que les personnes intéressées à la conservation et à la restauration de l'œuvre (architecte, restaurateur, responsable de site ou d'institution, référent CRMH) puissent être présentes.

## ACCUEIL D'ŒUVRES EN RESTAURATION

Les prévisions de programmation de l'année 2022, principalement autour des œuvres relevant des monuments historiques, subissant le contrecoup de la crise sanitaire, ont en grande partie été reportées en 2023. Du fait de ces reports, les perspectives d'activités restent ambitieuses pour l'année à venir. Certaines œuvres sont programmées pour arriver à la fin de l'année 2022 et seront traitées en études préalables ou en restauration l'année prochaine. La programmation des dossiers d'imagerie scientifique s'organise en fonction des calendriers d'arrivée. Les ingénieurs et techniciens chimistes seront associés à des dossiers importants, tant pour l'assistance à la restauration que la connaissance des œuvres. Les membres de l'équipe chargée de la régie et des mouvements des œuvres auront à se mobiliser afin d'assurer l'ensemble des mouvements d'œuvres et l'assistance technique aux restaurateurs pour l'accompagnement de tableaux de formats importants.

Pour les monuments historiques, l'arrivée des œuvres en vue de l'exposition Jean Daret (1614-1668) du musée Granet d'Aix-en-Provence, programmée en juin 2024, va constituer un temps fort de l'activité scientifique et de restauration, tant pour les perspectives d'exposition et de publication que par l'importance et la programmation des mouvements des œuvres en cours de restauration au sein des ateliers. Ce projet implique, à ce jour, huit villes des départements des Alpes-Maritimes, des Bouches-du-Rhône, du Var et de Vaucluse : Vence, Aix-en-Provence, Le-Puy-Sainte-Réparate, Lambesc, Simiane-Collongue, Apt, Pignans, Aups.

Par ailleurs, pour les monuments historiques, les villes d'Eguilles, de Châteaurenard, de Cadenet et de Draguignan, qui avaient déjà souhaité bénéficier de l'assistance du CICRP, engageront peut-être une partie des demandes formulées en 2022. Cette hypothèse est retenue dans le cadre de cet exercice, sous réserve de la mise en place des marchés publics.

Les musées de Menton avec le Palais de Carnolès et le musée Cocteau, la bibliothèque-musée Inguimbertaine de Carpentras, le musée des Beaux-Arts et le MAC\* de Marseille, le musée Chéret de Nice et le musée Bonnat-Helleu de Bayonne, le musée Fesch d'Ajaccio ont déjà fait part de leur demande d'accueil et, pour la plupart, les marchés sont notifiés ou en cours.

Le nombre prévisionnel de nouveaux dossiers concerne principalement la région Provence-Alpes-Côte d'Azur et la région Nouvelle-Aquitaine avec 120 nouveaux biens culturels attendus tous départements confondus, correspondant à la prévision de 2022 évaluée à 116 biens culturels. Se poursuivront en 2023, les restaurations des 66 œuvres en cours d'intervention ou d'études préalables commencées avant ou en 2022.

Cette année sera sans doute une année de renouvellement, entre les importants programmes d'ouverture de musées que le CICRP a soutenus depuis quelques années et la mise en place de dossiers attendus mais régulièrement reportés, comme les Bréa ou la peinture en Provence au XVII<sup>e</sup>, grâce à l'exposition Jean Daret.

En raison de la dimension de certains tableaux relatifs à l'exposition Jean Daret, la gestion des ateliers devra faire l'objet d'une attention particulière et de programmation auprès des restaurateurs pour la fourniture de bâtis et de chevalets et s'assurer des disponibilités des tables de rentoilage et des mouvements liés aux multiples étapes de vernissage en cours ainsi qu'en fin de restauration.

## NOUVELLES DEMANDES DE RESTAURATION PRÉVUES POUR 2023 (120 biens culturels)

Ce programme concerne des demandes qui ont été reportées en raison des perturbations occasionnées par la crise sanitaire. Sans préjuger l'avenir, il est possible que certaines prévisions soient encore différées où qu'elles soient remplacées par d'autres demandes provenant d'autres bénéficiaires.

### Œuvres classées au titre des monuments historiques (34 biens culturels) :

#### Provence-Alpes-Côte d'Azur

La programmation majeure de l'année portera sur les œuvres de l'exposition Jean Daret du musée Granet, prévue pour juin 2024, dont certains formats sont importants sans être démesurés. Elle concerne quatre départements de la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur (les Alpes-Maritimes, les Bouches-du-Rhône, le Var et le Vaucluse) avec *Saint Paul ermite et saint Antoine* (1660) de l'ancienne cathédrale de Vence, sept peintures de Jean Daret et deux de Nicolas Mignard provenant de l'église de la Madeleine, des chapelles des Andrettes et de la Consolation d'Aix-en-Provence, deux autres de Simiane-Collongue, *L'Ange-Gardien* (1647) et une autre de Pierre Bainville (1683), les peintures de *Sainte Anne* et de *Saint Joachim* du Puy-Sainte-Réparate, *La mort de saint Joseph* (1649) de l'église de Lambesc, *La Sainte Famille avec sainte Anne* (3.80 m x 2.40 m) de l'église Sainte-Anne d'Apt, une *Assomption* (1647) de l'église de Pignans (3.60m x 2.66 m), et vraisemblablement le retable de *Saint Barthélémy* (1641) (3.30 m x 2.30 m) et sa prédelle de l'église paroissiale d'Aups.

Les autres programmations correspondent à des demandes initiées en 2021 et 2022, dont, pour les Alpes-Maritimes, une œuvre anonyme du XVIIe, conservée dans le monastère Franciscain de Saorge (CMN\*) ; pour les Bouches-du-Rhône, la restauration du François Mimault de l'église de La Madeleine d'Aix-en-Provence, en prévision d'une exposition Finson prévue en 2025, est engagée.

En revanche, sont mentionnées comme possibles les demandes suivantes : dans les Bouches-du-Rhône, sept peintures de l'église Saint-Julien d'Eguilles avec un *Saint Jérôme* qui attire l'attention de la CRMH et une peinture de l'église du Puy-Sainte-Réparate ; dans le Var, *La Vierge en Majesté* de Ludovic Bréa de la paroisse Saint-Jean-Baptiste des Arcs-sur-Argens dont l'étude préalable a été conduite *in situ* en 2018 ; dans le Vaucluse, deux peintures, une de Nicolas Mignard et une autre de Pierre II Mignard de l'église Saint-Eloi de Chateaurenard ainsi que *Saint Denis* de l'Aixoïis Gilles Garcin et une peinture de *Saint Michel* de Nicolas Mignard de la municipalité de Cadenet.

### Œuvres de musées (86 biens culturels) :

#### Provence-Alpes-Côte d'Azur

##### ▪ Peinture

###### ◦ Alpes-Maritimes

Sept tableaux du Palais de Carnolès, musée des Beaux-Arts de la ville de Menton, et dix tableaux du musée Cocteau sont concernés.

Pour la ville de Nice, il s'agit de six petits panneaux du retable de *Sainte Marguerite* conservés au

musée Chéret, provenant de l'église de Lucéram, dont le panneau principal est toujours en place sur le maître-autel. Ils ont été intégrés à la collection du musée Chéret à la suite de leur acquisition auprès d'une collection privée en 1882.

###### ◦ Bouches-du-Rhône

Onze tableaux du musée des Beaux-Arts de la ville de Marseille sont prévus, dont une *Nature morte aux Gibiers* de Franz Snyders anciennement transposée, un carton de tapisserie de François Desportes, *Le Chasseur indien* ; et une peinture du XVIII<sup>e</sup> du musée Grobet-Labadié pour l'exposition *Asie fantasmé - Histoire d'exotisme*.

Est programmé un triptyque du XVI<sup>e</sup> siècle du musée Granet (Aix-en-Provence), dont le tableau a fait l'objet d'un dossier d'imagerie et d'analyses en 2022 au CICRP.

###### ◦ Vaucluse

Une œuvre du XVII<sup>e</sup> siècle de la bibliothèque-musée Inguimbertaine de la ville de Carpentras clôturera un programme de restauration ambitieux conduit depuis plusieurs années pour la réouverture de la bibliothèque-musée à l'Hôtel-Dieu.

##### ▪ Photographie

A la suite d'une inondation dans les réserves mutualisées de Marseille (CPM\*), le CICRP accueillera dans l'atelier d'arts graphiques vingt photographies qui seront traitées en conservation.

#### Corse

Le marché de restauration est en cours pour douze tableaux provenant du musée Fesch d'Ajaccio. Leurs dossiers d'imagerie ont été réalisés au cours de l'été 2022.

#### Nouvelle-Aquitaine

En 2023, tout en poursuivant le programme commencé en 2022 pour le musée Bonnat-Helleu de Bayonne sur une programmation de 50 tableaux à restaurer en quatre ans, il est prévu d'accueillir seize nouvelles peintures dont *Doux Pays* de Puvis de Chavannes (2.30 m x 4.00 m).



## INTERVENTIONS EN COURS (28 biens culturels)

Les biens culturels suivants font l'objet de restaurations engagées financièrement ou qui sont en cours d'engagements financiers. Les études ou restaurations commencées en 2022 sont aussi mentionnées.

### Œuvres classées au titre des monuments historiques (7 biens culturels) :

#### Provence-Alpes-Côte d'Azur

- Alpes-Maritimes

La restauration de *La Piéta* de Louis Bréa du monastère de Cimiez (ville de Nice) sera achevée.

- Bouches-du-Rhône

Une peinture de Pierre Bainville, *L'Annonciation* (4.84 m x 3.04 m), provenant de l'église Saint-Genest de Martigues, présente au CICRP depuis 2017, sera terminée en avril 2024.

- Var

Un marché a été engagé en juin 2022 pour une peinture provenant de l'église Saint-Paul d'Hyères, représentant *La vision de Saint Paul*, présente au CICRP depuis plusieurs années.

Pour la ville de Draguignan, est concerné *Le Vœu de Louis XVI* de Carlo Maria Viganoni (1818) (4.40 m x 3.06 m), classé au titre des monuments historiques et inscrit aux inventaires du musée des Beaux-Arts.

#### Auvergne-Rhône-Alpes

L'étude préalable d'une peinture provenant de la commune d'Usson dans le Puy-de-Dôme, qui représente *La résurrection de Lazare*, anonyme de la fin du XV<sup>e</sup>, avait commencé en septembre 2021 et doit se terminer au cours du premier semestre 2023.

L'étude de cheminée sculptée provenant du château du Bosquet à Saint-Martin d'Ardèche, composée de 73 blocs du XVI<sup>e</sup> siècle, se poursuit. Les blocs sont en cours d'étude (matériaux et décors), à la fois pour comprendre la matérialité de l'œuvre et ses transformations. L'assistance aux restaurateurs portera sur une aide à la finalisation du constat d'état (notamment les protocoles de nettoyage et de consolidation). L'année 2023 sera marquée par une campagne de numérisation à but documentaire et en vue du remontage, et par l'accueil de spécialistes de la sculpture de la Renaissance de l'université de Tours.

#### Occitanie

La restauration de *L'Assomption de la Vierge* de Nicolas Mignard, commandée en 1645 pour la cathédrale de Nîmes, continue jusqu'en 2024.

### Œuvres de musées (21 biens culturels) :

#### Provence-Alpes-Côte d'Azur

Pour bibliothèque-musée Inguimbertaine de Carpentras (Vaucluse), se terminent la restauration de *l'Ex-voto* du XVII<sup>e</sup> siècle ayant appartenu aux collections de Denis Bonnet, peintre carpentrasien, professeur de dessin au collège de Carpentras (son œuvre reste une référence du XIX<sup>e</sup> siècle comtadin), et d'une copie de *Judith et Holopherne* de Rubens. Les deux œuvres ont donné lieu à des analyses complémentaires pour assistance à la restauration.

#### Nouvelle-Aquitaine

Les marchés publics pour la restauration de dix-neuf peintures arrivées en 2022, provenant du musée Bonnat-Helleu de Bayonne, sont en cours.

## INTERVENTIONS EN ATTENTE D'ENGAGEMENTS FINANCIERS (38 biens culturels)

Ces biens culturels ont fait l'objet de dossiers d'imagerie scientifique et/ou d'une étude préalable avant 2023 et sont en attente d'engagement financier. Selon les prévisions annoncées par les municipalités, le lancement des marchés publics de restauration est en cours ou prévu courant 2023.

### Œuvres classées au titre des monuments historiques (35 biens culturels) :

#### Provence-Alpes-Côte d'Azur

##### ▪ Peinture

###### ◦ Alpes-Maritimes

La restauration de *La Vierge de Miséricorde* des Pénitents noirs de Nice, arrivée en 2018 pour une étude préalable, est en cours d'engagement.

*La Vierge du Rosaire* de Louis Bréa de la municipalité d'Antibes Juan-les-Pins est arrivée au CICRP en septembre 2021 pour étude préalable. Sa restauration est prévue sur les crédits de 2023.

###### ◦ Bouches-du-Rhône

L'engagement financier est prévu fin 2022 pour deux œuvres, dont une de Michel Serre (4.00 m x 3.00 m), provenant de l'église des Milles d'Aix-en-Provence, venues en 2020 pour étude préalable.

Une œuvre de la mairie d'Eyguières, dont l'étude préalable est terminée, connaît une situation similaire.

###### ◦ Var

L'étude préalable à la restauration du retable du *Corpus Domini* d'Antoine Ronzen de la basilique de Saint-Maximin-la-Sainte-Baume, composé de vingt-et-un panneaux, s'est terminée en septembre 2021.

L'étude préalable d'une *Vierge au manteau bleu*, attribuée à Louis Bréa sur la base Palissy, provenant de l'église Notre-Dame-du-Peuple de Draguignan, a été achevée en 2022.

###### ◦ Vaucluse

La restauration de cinq tableaux de Nicolas Mignard du chœur de l'église Notre-Dame-et-Saint-Véran de Cavaillon permettra de compléter l'étude sur la technique du peintre conduite sur ses œuvres restaurées au CICRP depuis quelques années.

Enfin une œuvre de Nicolas Mignard de l'église de Bonnieux, qui pourrait changer d'attribution en faveur de Louis Parrocel, se trouve actuellement dans les ateliers.

##### ▪ Sculpture

###### ◦ Alpes-Maritimes

L'étude prévue en 2022, reportée en 2023, d'un portail en albâtre catalan de la fin du XV<sup>e</sup> siècle, acquis par Béatrice Ephrussi de Rothschild pour sa villa de Saint-Jean-Cap-Ferrat, doit prendre en compte la recherche de l'origine de l'albâtre. Elle portera sur la réalisation d'un constat d'état avec assistance à la mise en place de protocoles de nettoyage et de consolidation et la mise à disposition d'un studio

photographique avec matériel de prises de vues.

###### ◦ Bouches-du-Rhône

Une *Vierge de Pitié*, statue en bois polychrome du XVI<sup>e</sup> siècle de la collégiale Saint-Martin à Saint-Rémy-de-Provence, a fait l'objet d'un dossier d'imagerie avec radiographie et d'une étude scientifique. L'étude préalable s'est prolongée en 2022, en raison de la complexité de la restauration de l'œuvre, exigeant un complément d'analyses.

### Œuvres de musées (3 biens culturels) :

#### Provence-Alpes-Côte d'Azur

Un petit diptyque de *La Crucifixion* du XV<sup>e</sup> siècle provenant du Mucem\* est en attente d'engagements.

#### Occitanie

Un projet de restauration concernera deux toiles sur la suite des quatre tableaux d'Hubert Robert du musée Fabre de Montpellier, classés au titre des monuments historiques, de 3.00 m x 2.15 m chacun. Ils décoraient l'hôtel de Montcalm, de son ancien nom hôtel du Quartier Général, à Montpellier. Les imageries en radio et en réflectographie montrent des changements de composition importants pour deux peintures et même un réemploi de toile pour l'une d'entre elles.

## MISSIONS D'ASSISTANCE EN COURS

La ville de Marseille a sollicité en 2021 le CICRP pour l'accompagner, en relation avec la CRMH PACA et le conseil départemental, à travailler sur la mise en place d'un programme pluriannuel de restauration des tableaux des églises de la ville, classés au titre des monuments historiques. Celui-ci concerne une quinzaine d'églises pour une quarantaine de tableaux. La visite de trois églises – Saint-Charles, la Sainte-Trinité La Palud et Saint-Mathieu de Château-Gombert – devrait permettre de proposer une approche méthodologique et établir un cahier des charges. La ville pourra alors déterminer les axes de restauration, ainsi que les prévisions financières, et engager une procédure de sélection de restaurateurs.

Pour le MAC de Marseille, le suivi de l'étude préalable de l'*Expansion n°24* de César devrait être engagée en 2023. L'œuvre ne viendra pas au CICRP mais une assistance scientifique à la restauration, en partenariat avec le C2RMF\*, est programmée.

# PROGRAMMES DE RECHERCHE

---

## PROGRAMMES DE RECHERCHE EN COURS

### PEINTURE ANCIENNE ET MODERNE

#### La technique picturale de Louis Bréa à travers l'étude des retables fin XV<sup>e</sup>-début XVI<sup>e</sup> conservés en région PACA

Début du programme : 2018

CICRP : Fanny Bauchau, Sarah Boularand, Emilie Hubert-Joly, Jean Fouace  
Partenariats : CRMH PACA, ville de Nice

La restauration au CICRP de plusieurs retables du peintre niçois Louis Bréa (actif entre Toulon et Gênes, de 1475 à 1523) constitue une occasion unique d'étudier la technique picturale de cet artiste, inspiré des courants de Provence et d'Italie, et dont l'évolution stylistique constitue un trait d'union entre tradition gothique et innovation de la Renaissance. Il s'agit, à travers la caractérisation matérielle et l'étude historique de la technique de Louis Bréa, de mieux comprendre les évolutions de sa production, de replacer et d'analyser l'influence du peintre dans les réseaux alpins et méditerranéens des XV<sup>e</sup> et XVI<sup>e</sup> siècles.

Entre 2016 et 2018, l'étude de la technique originale du retable de *La Crucifixion*, œuvre majeure de l'artiste conservée au monastère de Cimiez de Nice, a constitué la première étape de ce projet. La réalisation d'un dossier d'imagerie scientifique 2D et 3D et d'analyses de la matière, au cours de l'étude préalable puis de la restauration, a permis la caractérisation de la technique de l'artiste, des différentes mises en œuvre des dorures ainsi que l'étude du support bois. En 2018 et 2019, des études scientifiques réalisées dans le cadre de l'étude préalable du retable de *La Vierge de la Miséricorde* de la chapelle de la Miséricorde à Nice, et de la restauration du retable de la collégiale Saint-Pierre de Six-Fours-les-Plages, ont enrichi la connaissance matérielle du corpus.

Entre 2020 et 2022, une première caractérisation du retable de *La Pietà*, conservé au monastère de Cimiez, ainsi que du retable de *La Vierge du Rosaire* d'Antibes Juan-les-Pins, a été menée lors de l'étude préalable à leur restauration.

**En 2023, ces résultats seront complétés par la poursuite de l'étude des trois retables de *La Vierge de la Miséricorde*, de *La Pietà* et de *La Vierge du Rosaire* lors de leurs restaurations. A cela pourrait s'ajouter l'étude de plusieurs panneaux provenant du retable de *Sainte Marguerite* de Lucéram, conservés au musée Chéret de Nice, ainsi que le retable de *La Vierge en Majesté* de la paroisse Saint-Jean-Baptiste des Arcs-sur-Argens, dont l'arrivée est prévue au CICRP en 2023.**

#### La technique picturale de Nicolas Mignard d'Avignon (1606-1668)

Début du programme : 2020

CICRP : Fanny Bauchau, Emilie Hubert-Joly, Jean Fouace  
Partenariat : CRMH PACA

Nicolas Mignard est un peintre d'origine troyenne, installé à Avignon au début des années 1630. Doté d'une culture italienne et française, il fait une brillante carrière au service de mécènes et de l'Eglise. Un grand nombre de ses tableaux sont conservés dans les églises d'Avignon et de sa région, et il est aujourd'hui considéré comme un artiste majeur de la peinture du XVII<sup>e</sup> siècle en Provence.

En 2018 et 2019, quatre tableaux de cet artiste ont été restaurés au CICRP (l'un provenant de l'église Saint-Denys de Châteaurenard et trois de la cathédrale Notre-Dame-des-Doms d'Avignon). Ces opérations ont été l'occasion d'étudier en détail la technique picturale de l'artiste (préparation, palette).

En 2022, des prélèvements ont été réalisés sur cinq tableaux de Nicolas Mignard provenant du chœur de l'église Notre-Dame-et-Saint-Véran de Cavaillon, ainsi que sur une œuvre provenant de l'église de Bonnieux dont l'attribution à Nicolas Mignard pourrait cependant être modifiée en faveur de Louis Parrocel.

**En 2023, le travail d'analyse sera poursuivi sur les prélèvements réalisés en 2022. L'étude d'autres œuvres de Nicolas Mignard dont la restauration est prévue au CICRP en 2023, notamment dans le cadre de l'exposition Jean Daret programmée en 2024 par le musée Granet, sera également menée. L'analyse d'œuvres de Jean Daret sera également l'occasion de confronter les pratiques picturales de ces deux peintres provençaux contemporains.**

### Diagnostics non destructifs des peintures sur bois

Début du programme : 2017

CICRP : Nicolas Bouillon, Emilie Hubert-Joly, Jean Fouace  
Partenariats : Laboratoire GRESPI\*/ECATHERM\* Université de Reims, SATT\* Hauts-de-France/Grand Est, François Duboisset (restaurateur)

La conservation des peintures sur bois reste aujourd'hui une problématique particulièrement complexe, a fortiori pour les œuvres conservées dans les monuments historiques qui subissent régulièrement d'importantes variations climatiques. Les changements de température, mais surtout d'humidité dans l'environnement des œuvres et à l'intérieur du support bois, peuvent engendrer des déformations et mener à des désordres structurels importants et par conséquent, à une dégradation parfois irréversible de la couche picturale.

Dans ce contexte, les nouvelles techniques de diagnostic non destructif (imagerie multispectrale, techniques interférométriques, suivi des déformations par photogrammétrie ou par capteurs déformométriques...) sont de plus en plus utilisées, pour la caractérisation et le suivi de l'évolution des altérations.

Ce programme s'articule autour de deux axes principaux basés sur la mise au point de nouveaux outils de diagnostics non destructifs pour la conservation-restauration :

- L'évaluation de l'apport de thermographie infrarouge stimulée pour la caractérisation des altérations structurelles des peintures sur bois.

Les travaux de recherche sur l'apport de thermographie infrarouge stimulée pour la caractérisation des altérations structurelles des peintures sur bois sont menés en collaboration avec le laboratoire GRESPI/ECATHERM de l'université de Reims. Suite aux premiers essais effectués en 2018 sur le retable de *La*

*Crucifixion* de Bréa, les travaux se sont poursuivis, une série d'expérimentations sur des éprouvettes de peintures sur bois a permis de mieux comprendre l'influence de la structure et de la composition des œuvres analysées (essence de bois du support, nature de la couche de préparation et des couches colorées, présence de dessin préparatoire) ainsi que de plusieurs paramètres d'acquisition. Les travaux réalisés en 2021-2022 ont été intégrés dans le cadre du programme Thermo-Art, porté par l'université de Reims Champagne-Ardenne et soutenu par la SATT Hauts-de-France/Grand Est, visant le développement d'un système portable et automatisé de thermographie infrarouge à destination des professionnels de la conservation-restauration. Les travaux effectués en 2022 se sont concentrés sur le test du prototype mis à disposition du CICRP. Il s'agissait d'une part de tester le système de pilotage des acquisitions sur les éprouvettes de peinture sur bois et sur œuvres réelles, et d'autre part, d'adapter les processus de traitement des données par le logiciel *IR Explorer*, développé par l'université de Reims Champagne-Ardenne.

**En 2023, les travaux se poursuivront par le traitement des données issues des dernières campagnes d'expérimentation réalisées en octobre 2022 sur trois peintures sur bois en restauration au CICRP.**

- La détection et l'étude des variations dimensionnelles des œuvres sur bois soumises à des contraintes thermo-hygrométriques, par des capteurs de déformation.

Dans le cadre de l'étude préalable à la restauration du retable de *La Résurrection de Lazare*, conservé dans l'église Saint-Maurice d'Usson (Puy-de-Dôme), une collaboration a été amorcée en 2021 avec François Duboisset, restaurateur en charge de l'étude, autour de l'utilisation de capteurs piezo-électriques pour la détection et le suivi des changements dimensionnels des œuvres en fonction des variations thermo-hygrométriques. En 2021, le CICRP s'est doté de quatre capteurs afin de collaborer à la mise au point d'une méthodologie adaptée aux besoins de diagnostic et de suivi des peintures sur bois. En 2022, un protocole expérimental visant à étudier la réponse des capteurs sur des éprouvettes de peinture sur bois soumises à des variations thermo-hygrométriques, contrôlées en amplitude et en durée, a été mis au point. Il s'agit de déterminer l'influence des paramètres de pose des capteurs (collage, positionnement etc.) ainsi que leurs performances (précision, reproductibilité etc.) sur des supports plus ou moins réactifs aux variations thermo-hygrométriques. Le dispositif expérimental est mis en place en attendant la mise à disposition des éprouvettes.

**En 2023, les premières expérimentations seront lancées. Elles permettront de mieux comprendre les résultats obtenus sur plusieurs œuvres en restauration instrumentées par le restaurateur partenaire dans les ateliers du CICRP.**

## Perception et Objectivation MultiModale d'une Intervention En Restauration-conservation – POMMIER

Programme : 2021-2024  
Financé par la FSP\*

CICRP : Nicolas Bouillon, Fanny Bauchau, Odile Guillon, Emilie Hubert-Joly  
Partenariats : INP\* (Coordination), CICRP, C2RMF, CRC\*, SATIE\* (université Cergy- Pontoise), Institut Jean le Rond d'Alembert (Sorbonne Université)

Ce projet possède un double objectif. Il s'agit dans un premier temps d'interroger et de déterminer des seuils de perception de modifications d'état d'une œuvre physique (couleur, brillance, rugosité...), notamment au moyen de l'analyse sensorielle. Le second objectif réside dans le développement d'un ap-

pareil multimodal portatif permettant l'objectivation par la mesure de modifications d'état physique peu ou non perceptibles dans le cadre de la conservation-restauration d'une œuvre. Il s'agit notamment de proposer une solution innovante d'aide à la décision dans le processus de détermination des choix de restauration (degré d'intervention, rendu esthétique).

La participation du CICRP dans ce projet intervient à plusieurs niveaux : la détermination des protocoles d'analyse sensorielle des peintures, l'interprétation des résultats obtenus en regard des techniques éprouvées d'analyses et d'imagerie scientifique, l'étude de la complémentarité de la technique de micro-RTI\* (développée dans le cadre du LabCom MAP\*-CICRP) avec le système développé dans POMMIER pour la caractérisation des états de surface.

Ce projet a fait l'objet d'un financement FSP pour le recrutement d'une doctorante pour 3 ans. Les travaux réalisés en 2021 et 2022 ont consisté en un état de l'art des approches utilisant les mécanismes psycho-sensoriels et les seuils de perception dans les domaines artistiques et culturels. En 2022, l'étude des champs d'expérimentation possibles en conservation-restauration a permis de sélectionner les interventions les plus intéressantes à étudier dans le cadre du projet. Les expérimentations se concentreront sur la restauration des peintures anciennes et plus particulièrement sur les étapes de nettoyage.

**En 2023, la doctorante entamera son programme expérimental sur des éprouvettes de laboratoire. Le CICRP continuera d'apporter son expertise sur les matériaux de l'art pictural et la restauration des peintures pour la mise en place des expériences et l'interprétation des résultats. Il propose également l'accueil et l'accompagnement scientifique de l'étudiante dans ses ateliers pour la réalisation de mesures expérimentales sur des œuvres en restauration.**

## ARTS ET MATÉRIAUX CONTEMPORAINS

### ElaStomères identifiés par Pyrolyse couplée à la GC/MS dans les cOLlectioNs muséales (ESPyON)

Début du programme : 2022

Financé par la FSP

CICRP : Fanny Bauchau, Nicolas Bouillon, Ludovic Antonelli

Partenariats : BnF\* (porteur), C2RMF, MNAM-CGP\*

Le projet de recherche ESPyON porte sur la conception d'une méthodologie analytique et d'un outil pour l'identification et la caractérisation des caoutchoucs dans les collections patrimoniales. Ce projet fédère des institutions qui conservent dans leurs collections des matériaux caoutchoucs et des laboratoires qui utilisent la technique de la pyrolyse couplée à la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (Py-GC/MS) pour l'étude des matériaux du patrimoine.

Les élastomères, dont l'usage s'est développé au fil des deux derniers siècles, sont difficiles à identifier parmi les matériaux polymères présents dans les collections, alors qu'une partie d'entre elles requiert déjà des traitements de préservation et de restauration. Pour développer des traitements adaptés, une connaissance précise de la nature chimique des élastomères utilisés est nécessaire, ainsi qu'une compréhension de leurs mécanismes de vieillissement.

La FSP a financé le recrutement d'une postdoctorante, de février 2022 à janvier 2023, dans le cadre du projet EsPyON. La recherche menée lors de ce premier contrat comprend trois phases :

- analyse par Py-GC/MS de matériaux de référence (purs et formulés) et création d'une base de données ;
- création d'un outil informatique de reconnaissance d'élastomères inconnus ;
- test de l'outil créé pour la caractérisation d'échantillons en provenance des collections du MNAM-CGP et de la BnF.

Une attention particulière étant portée à l'interopérabilité de l'ensemble de la méthodologie utilisée vis-à-vis des différents équipements analytiques des laboratoires partenaires, les matériaux de référence ont été également analysés au CICRP pour comparaison avec les résultats obtenus à la BnF.

**En 2023, un second contrat postdoctoral d'une durée d'un an sera financé par la FSP (projet ESPyON 2). L'objectif de cette seconde phase du projet est d'augmenter la performance de l'outil de caractérisation développé en 2022 via l'intégration de marqueurs de dégradation spécifiques à certains élastomères. Cet ajout vise à permettre l'identification des matériaux élastomères en provenance de collections patrimoniales, quel que soit leur état de dégradation.**

## PEINTURE MURALE

### Thermographie infrarouge stimulée appliquée à la conservation des peintures murales

Début du programme : 2008

CICRP : Jean-Marc Vallet, Odile Guillon

Partenariats : ITheMM\*-Université de Reims Champagne-Ardenne, MAP-ARIA\*

Depuis 2008, le CICRP développe des travaux visant à l'optimisation de la thermographie infrarouge pour la recherche, la caractérisation de la nature des défauts non visibles affectant les peintures murales (détection des vides formés, détection des sels hygroscopiques) et leur support, ainsi que la quantification volumétrique et la détermination de la profondeur d'apparition.

Ces travaux ont en particulier conduit le CICRP, sur proposition de l'université de Reims et de la SATT Hauts-de-France/Grand Est, à participer à la réalisation d'un outil (Thermo-Art) transportable destiné aux professionnels de la conservation pour faciliter les diagnostics d'altération de surface sur le patrimoine immobilier et mobilier (2018-2022). Cet outil a été expérimenté sur site (chapelle Notre-Dame des Fontaines à La Brigue et église de Montgauch) fin 2021 et en 2022. Même si le prototype nécessite des améliorations pour optimiser sa réponse lors des mesures, il a montré sa grande utilité dans le réglage du dépôt d'énergie sur les surfaces des peintures murales étudiées.

Par ailleurs, les premiers essais menés dans le cadre du Labcom MAP-CICRP, en embarquant un module de caméra infrarouge sur drone, ont montré la possibilité d'obtenir des données en mode passif à l'intérieur de la chapelle Notre-Dame des Fontaines.

Par ailleurs, grâce au programme d'équipement Espadon (cf. ci-après), une caméra infrarouge à fréquence rapide va être acquise, dans le but de détecter les défauts présents en subsurface, ce qui n'est pas possible pour les caméras infrarouge classiques telles que celles en possession du CICRP.

**En 2023 sont prévus l'achat de la caméra infrarouge rapide ainsi que les premiers essais de recherche de défauts en subsurface (dans les couches picturales, entre la couche picturale et l'enduit). Par ailleurs, les tests du prototype Thermo-Art vont être poursuivis ainsi que les essais utilisant un drone.**

### Origine et conservation des terres utilisées comme pigments en peinture murale

Début du programme : 2016

CICRP : Jean-Marc Vallet, Jérémie Berthonneau

Partenariat : CINaM\*

Le cortège minéralogique composant les terres utilisées comme pigments (ocres et terres vertes) détermine en grande partie leur sensibilité aux phénomènes de dégradation. La composition de ces pigments, très utilisés en peinture murale, est cependant hétérogène et dépendante de leur mode de formation et du lieu d'extraction.

Un des premiers objectifs de la recherche est de déterminer, pour les ocres rouges, les ocres jaunes et les terres vertes, dans quelle mesure il est possible de retrouver l'origine de ces types de pigments. Plus particulièrement, il s'agit de déterminer si l'hématite d'une ocre rouge est d'origine naturelle ou synthétique (issue de la cuisson d'ocre jaune) et quelles sont les conséquences en matière de conservation. Par ailleurs, il semble possible, pour les terres vertes, de différencier la glauconite, minéral d'origine sédimentaire, de la céladonite, minéral d'origine hydrothermale en utilisant une combinaison de techniques analytiques incluant la diffraction des rayons X et la microscopie électronique à transmission. Enfin, la définition du cortège minéralogique de l'ensemble de ces terres, et notamment l'identification de minéraux argileux gonflants, permettra d'appréhender leur susceptibilité au phénomène de dégradation par perte de matière.

L'approche va donc consister dans l'étude d'un large panel d'échantillons de pigments de différentes provenances, issus dans un premier temps de fabricants de couleurs et, dans un deuxième temps, issus de microprélèvements réalisés lors d'études de peintures murales menées par le CICRP. Par ailleurs et pour ce qui concerne les ocres rouges, l'étude des ocres obtenus expérimentalement à partir de la transformation thermique d'ocres jaunes sera aussi menée pour comprendre l'éventuelle influence du mode de cuisson sur les propriétés intrinsèques du pigment.

**En 2023, il est prévu de poursuivre les premières caractérisations d'ocres, terres vertes de différentes origines incluant les terres utilisées comme pigments pour la formulation d'aquarelles spécifiques à la restauration des décors muraux du Palais Princier de Monaco.**

### Compréhension des mécanismes de noircissement des pigments à base de plomb et/ou mercure en peinture murale et détermination de techniques de conservation

Début du programme : 2018

CICRP : Jean-Marc Vallet, Odile Guillon  
Partenariats : CINaM, Musée de l'Arles Antique, Emilie Checroun (restauratrice)

Suite à plusieurs demandes pour comprendre les mécanismes de noircissement affectant des couches picturales rouges, ce programme de recherche, suspendu en 2010, va être repris. En effet, des noircissements affectant les peintures murales de l'église de Saint-Germain-des-Prés (Paris) et de la villa Laurens à Agde ont été observés. Une étude a notamment été menée à la fin de l'année 2017 et au courant du premier semestre 2018 sur les décors peints de l'église de Saint-Germain-des-Prés (L. Boulogne, Master de conservation-restauration des biens culturels de l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne) mais n'a pu permettre de montrer quelle était la nature de la phase noire visible dans la couche rouge faite d'un mélange de pigments (en particulier, minium et vermillon).

Par ailleurs, les archéologues et restauratrices du musée départemental Arles Antique, se sont inquiétées de l'apparition de noircissements de la couche picturale rouge de peintures murales, en cours de dégagement lors des fouilles de La Verrerie (Arles ; peintures de la maison d'Aiôn) et lors de l'exposition au sein du musée. Des expérimentations de dessalement ont été menées au musée par les restauratrices avec le CICRP et le concours de la société Aslé Conseil. Les techniques de dessalement testées et les résultats font l'objet d'un article qui va être soumis à la revue *Technè*.

Enfin, des expérimentations pour la préparation d'échantillons et leur observation au MET\* ont ainsi montré qu'il n'était pas possible de réaliser des coupes FIB\* et que certaines phases à base de mercure formées lors du noircissement n'étaient pas stables sous le faisceau d'électrons.

**En 2023, vont être finalisés les articles en cours sur la reconversion du blanc de plomb d'une part et sur le dessalement d'échantillons de cinabre noirci. Des expérimentations complémentaires quant au dessalement et l'évolution des échantillons dans le temps vont être poursuivies.**

### Reconvert : reconversion par irradiation laser de pigments anciens dégradés

Début du programme : 2021  
Financement par la FSP

CICRP : Jean-Marc Vallet  
Partenariats : C2RMF, CINaM, CEA\*

Un grand nombre de pigments inorganiques des biens culturels sont sujets dans le temps à des dégradations chromatiques considérées comme irréversibles. La majorité des travaux de recherche menés sur ce sujet porte sur la compréhension des mécanismes mis en œuvre. Les études sur une possible reconversion, comme le traitement, chimique, du blanc de plomb noirci ou, physique par action photonique, du minium noirci sont plus rares. Cette dernière technique présente un potentiel intéressant en matière de conservation. Le projet Reconvert a consisté en une approche thermodynamique expérimentale afin de valider la possibilité de reconvertir le blanc de plomb noirci en blanc de plomb. Les résultats encourageants obtenus ont conduit à faire des essais en utilisant une source laser continue (expérimentations effectuées au CEA).

Les travaux menés ont démontré que :

- la reconversion directe de la plattnérite en blanc de plomb n'était pas faisable ;
- la reconversion pouvait être réalisée en passant par le massicot (PbO) comme phase intermédiaire ; de la cérusite, de l'hydrocérusite et de la plumbonacrite (composants du blanc de plomb) sont formés à partir de plattnérite (noire).

Des essais par irradiation laser continu (1080 nm) ont conduit à la transformation de la couche noire qui est variable selon la fluence et le temps d'irradiation.

Ces travaux ont conduit à la publication des résultats dans deux articles (*Journal of Applied Physics B* ; congrès AIC 2020). Un troisième article va être soumis d'ici la fin de l'année 2022 à une revue de type *Phase Transition*.

Concernant le cinabre, les travaux menés de vieillissement expérimental afin d'obtenir du cinabre noirci et réalisés d'après les protocoles proposés dans la littérature se sont avérés infructueux. Par ailleurs, la littérature sur les mécanismes de noircissements de ce pigment et les essais de caractérisation d'échantillons de cinabre noirci provenant de la maison d'Aiôn (cf. programme précédent) ont montré que les mécanismes étaient encore imparfaitement compris. Aucune étude approfondie des effets de l'irradiation laser sur le cinabre noirci n'a de ce fait été menée.

**En 2023, les travaux de caractérisation des zones des éprouvettes au blanc de plomb noirci irradiées par rayonnement laser vont être poursuivis. Il est envisagé de réaliser d'autres essais sur des échantillons expérimentaux afin de mieux maîtriser la reconversion du blanc de plomb noirci par irradiation laser.**



## Restitution numérique et restitution expérimentale de closoirs

Début du programme : 2022

CICRP : Sarah Boularand, Odile Guillon

Partenariat : Association internationale de recherche sur les charpentes et plafonds peints médiévaux (RCPPM)

Depuis plusieurs années et notamment sous l'impulsion de la RCPPM, l'étude des plafonds peints médiévaux suscite un intérêt croissant au sein d'une communauté pluridisciplinaire européenne, constituée entre autres d'historiens, d'architectes, d'archéologues et de scientifiques du patrimoine.

En 2016, la collaboration entre le CICRP et la RCPPM a donné lieu à l'organisation, à Marseille et Fréjus, des 9<sup>e</sup> rencontres annuelles de la RCPPM sur le thème : « Connaissance, conservation et restauration des plafonds peints médiévaux en Europe : méthodes et approches scientifiques ». Ces rencontres ont permis une valorisation des méthodes et analyses scientifiques dans l'étude des plafonds peints et ont suscité une volonté de poursuivre cette enrichissante coopération interdisciplinaire.

Classés au titre des monuments historiques depuis février 2013, les closoirs du plafond peint médiéval de l'ancienne maison du Viguiier à Puisserguier (34) ont fait l'objet d'une étude physico-chimique des matériaux et d'une campagne d'imagerie menées par le CICRP entre 2015 et 2018.

Ces closoirs présentent pour la plupart un état de dégradation avancé de la couche picturale qui rend difficile la compréhension et la lecture du décor peint dans son intégralité. Suite à une campagne de restauration, plusieurs de ces closoirs déposés ont fait l'objet d'une présentation muséographique inaugurée en septembre 2022 au château de Puisserguier, dans une salle qui leur est spécialement dédiée.

L'expérience de la muséographie de Puisserguier a mis au jour des difficultés de restitution pour le grand public de l'état initial d'un plafond. Ces difficultés résultent entre autres du respect des œuvres et de la déontologie de restauration face à des pièces en mauvais état. L'idée de proposer des restitutions par des moyens numériques ou d'expérimentations archéologiques a germé mais se heurte au peu d'expériences concluantes déjà réalisées et à la nécessité de redécouvertes des savoir-faire. Au-delà de la dimension pédagogique, les hypothèses de restitution d'un closoir ou d'une partie d'un plafond dans leur équivalent colorimétrique permettraient de mieux appréhender les closoirs et leur spatialisation et d'avoir une meilleure connaissance des techniques picturales.

En 2022, une réunion de réflexion s'est tenue sur les différentes méthodes de restitution et les contraintes qui leur sont liées.

**En 2023 cette réflexion se poursuivra avec la mise en place de protocoles d'expérimentation associés à des mesures spectrocolorimétriques sur des éprouvettes ainsi qu'à des tests de rendus numériques pour se rapprocher de la réalité (avec l'évaluation de l'influence du microrelief de la peinture et des microvariations chromatiques des pigments anciens).**

## PIERRE ET MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

### Conservation des temples et tombes égyptiens

Début du programme : 2017

Financé par l'IFAO\*

CICRP : Philippe Bromblet, Jean-Marc Vallet, Emilie Hubert-Joly

Partenariats : IFAO (porteur), Musée du Louvre, LRMH, C2RMF, CSTB\*, Fondation Khéops, Université de Montpellier II (hydrogéologie)

Sollicité par le musée du Louvre (DAE\*) et la Fondation Khéops, le CICRP avait participé en 2017 à deux missions d'expertise sur deux tombes (nécropole de Tanis et TT33 à Louxor). Ces missions ont été le point de départ d'une série d'études sur les matériaux de l'Égypte antique et de leur conservation en collaboration avec le DAE, l'IFAO et la Fondation Khéops.

Un ambitieux programme de conservation et de valorisation du site de Tanis a obtenu un financement sur 2 ans, 2019 et 2021 (FSPI\*, ministère de l'Europe et des Affaires Étrangères), dans lequel le CICRP s'est engagé pour apporter son expertise aux études (hydrogéologique, en conservation, couverture photographique 3D...) et dans les interventions prévues (réalisation d'abris, mise en place d'un pompage de rabattement de la nappe phréatique, essais de restauration des peintures...).

Le programme a été prolongé jusqu'à fin 2022, les missions prévues dans la seconde moitié de l'année 2021 ayant dû être annulées. Les missions envisagées en 2022 n'ont finalement pas eu lieu, notamment en raison du contexte sanitaire et des délais trop longs pour avoir toutes les autorisations requises.

**L'année 2023 s'annonce sous de meilleurs auspices avec une mission d'ores et déjà programmée avec l'IFAO et le DAE du musée du Louvre, pour des essais puis une campagne de nettoyage des parois des premières salles de la tombe TT33 (Padiaménopé) à Louxor. Plusieurs méthodes seront testées avec la participation du groupe Karcher qui se charge de fournir le matériel nécessaire. Le CICRP assistera les restaurateurs pour l'évaluation des tests et la documentation des parois avant et après nettoyage par imagerie.**

**Pour ce qui concerne la nécropole de Tanis, une mission imagerie et conservation du site pourrait être organisée dans le courant de l'année si les autorisations le permettent. Les discussions sur la conception de l'abri destiné à protéger des intempéries les tombes accolées de Psousennés et Osorkon sont toujours en cours.**

### MAP4D — Caractérisations multiphysiques et modélisations multi-échelles pour évaluer les processus d'endommagement des matériaux poreux du patrimoine bâti dus aux sels

Programme : 2020-2023

Financé par la FSP

CICRP : Philippe Bromblet

Partenariats : GEC\* (Cergy Université), L2MGC\* (Cergy Université)

L'altération par les sels solubles est considérée comme un des phénomènes majeurs de dégradation du patrimoine bâti à travers le monde.

MAP4D vise d'une part, à améliorer les connaissances des micro-mécanismes d'endommagement au sein des matériaux poreux du patrimoine bâti, et d'autre part, à développer des modèles prédictifs des impacts des sels sur les propriétés de durabilité des matériaux, en fonction des conditions environnementales et des propriétés propres des sels et des milieux poreux en question. La méthodologie est multi-échelle et combine des caractérisations et des mesures 2D et 3D *in situ* durant les processus d'altération, ainsi que des modélisations numériques 3D permettant d'interpréter les résultats à différentes échelles. Le CICRP apporte son expertise sur la connaissance des matériaux du patrimoine et sur l'analyse des phénomènes de dégradation liés à l'action des sels solubles dans le patrimoine bâti.

**En 2023, Clément Mathieu, doctorant, terminera les expérimentations sur des pierres salinisées. Il étudiera les effets des cristallisations salines selon le protocole multi-échelles qu'il a pu mettre au point et développera les premiers modèles numériques prédictifs 2D/3D à partir de ces expériences et des données acquises. Plusieurs réunions de suivi sont prévues. A noter qu'en raison de la période Covid qui a induit un retard sur les expérimentations, un prolongement de 6 mois (premier semestre 2024) est prévu.**

### Rôle des propriétés thermo-hydromécaniques dans la dégradation des pierres

Début du programme : 2020

CICRP : Philippe Bromblet, Jérémie Berthonneau, Nathalie Gandolfo  
Partenariats : LMA\* (UMR\* 7031), Bureau d'études STONO

Les variations des propriétés mécaniques des pierres en fonction de la température et de la teneur en eau jouent un rôle décisif dans leur dégradation. Ce programme de recherche vise donc à développer une méthode de mesure non destructive du comportement mécanique de différents types de pierres soumises à des variations thermo-hydriques afin de pouvoir comprendre et prédire les mécanismes à l'œuvre. Pour cela, un banc de spectroscopie ultrasonore à résonance non linéaire (NRUS) a été mis en place au CICRP en collaboration avec Cédric Payan du LMA d'Aix-Marseille Université (UMR 7031).

A ce jour, cette nouvelle méthodologie permet d'extraire des propriétés mécaniques caractéristiques du comportement des matériaux pierreux telles que la déformation élastique et l'endommagement. Une thèse de doctorat (Marie-Laure Chavazas – Ecole doctorale ED353 d'Aix-Marseille Université) a débuté le 1er octobre 2021 avec l'objectif d'appliquer cette méthodologie à la compréhension de la dégradation du marbre. La première année a permis de définir le protocole d'acquisition, d'établir la sensibilité de la méthode aux phénomènes étudiés ainsi que d'acquérir un corpus de données sur l'évolution du comportement thermo-hydromécanique de ce matériau. Ces résultats ont donné lieu à deux communications scientifiques lors du congrès français d'Acoustique (présentation orale) et du congrès InArt (poster).

**En 2023, les expérimentations à base de cyclages thermiques et hydriques seront poursuivies. L'évolution des paramètres d'élasticité et de non-linéarité sera étudiée au regard de la microstructure du matériau à l'aide d'observations microscopiques (optique et électronique) et d'analyses porosimétriques (porosimétrie Hg, microtomographie X) afin de mettre en évidence le ou les mécanismes impliqués (microfissuration, dissolution des joints de grains, etc.). En parallèle, un**

**stage de master 2 est envisagé pour conduire des essais de consolidation sur les échantillons endommagés expérimentalement afin d'évaluer l'efficacité et la durabilité des traitements de conservation. Enfin, les premières phases du développement d'un appareillage de mesure portatif et sans contact seront menées dans le cadre du projet ESPADON afin d'appliquer cette méthodologie à l'analyse des objets anciens par tomographie acoustique.**

### Evaluation des moyens de lutte contre les remontées capillaires dans les structures maçonnées

Début du programme : 2020

CICRP : Philippe Bromblet, Jérémie Berthonneau  
Partenariats : CRMH PACA, CRMH Occitanie

Les remontées capillaires constituent l'un des principaux phénomènes d'altération des structures maçonnées. Parmi les nombreuses techniques développées pour traiter ce phénomène (insertion de membrane d'étanchéité, drainage, injection de produits imperméabilisants), de nouveaux dispositifs font aujourd'hui l'objet d'un intérêt grandissant dans le domaine de la conservation du patrimoine bâti. C'est le cas des dispositifs électrocinétiques utilisant l'effet des ondes électromagnétiques sur les molécules d'eau (électro-osmose passive et active, boîtier d'amortissement électromagnétique) afin d'empêcher les remontées capillaires dans les structures maçonnées.

Le CICRP a récemment été sollicité par la CRMH Occitanie pour suivre la mise en place et évaluer l'efficacité des dispositifs électrocinétiques envisagés pour le traitement des remontées capillaires, qui constituent la principale cause de dégradation du retable du couvent des Pénitents Gris d'Aigues-Mortes (Gard). En parallèle, la CRMH PACA a engagé une approche similaire dans le cadre des travaux de restauration des peintures murales de la chapelle gothique de l'abbaye de Saint-Hilaire à Ménerbes (Vaucluse). Ce programme de recherche a donc pour objectif d'étudier précisément les protocoles mis en place et d'évaluer l'efficacité des traitements innovants des remontées capillaires.

**En 2023, un diagnostic avant traitement sera réalisé sur les cas d'études identifiés. Pour cela, un suivi climatique de l'environnement immédiat des œuvres sera conduit pour une durée d'un an. Au cours de cette période, des acquisitions par imagerie infrarouge seront réalisées à intervalle régulier pour cartographier l'étendue des remontées capillaires. Cette même approche sera ensuite poursuivie à la suite de la mise en place du dispositif de traitement électrocinétique. Il sera ainsi possible de mettre en relation l'influence de l'hygrométrie ambiante sur l'efficacité de déshumidification des dispositifs mais aussi, à l'inverse, celle des dispositifs sur l'environnement immédiat des œuvres traitées.**

## CONSERVATION PRÉVENTIVE ET ENVIRONNEMENT

### Etude des systèmes de contrôle de l'hygrométrie à membrane polymère électrolytique dans les vitrines : recherches complémentaires pour les musées et monuments historiques du grand Sud-Est

Début du programme : 2021

CICRP : Nicolas Bouillon  
Partenariat envisagé : LRMH

Depuis quelques années, plusieurs fournisseurs de musées proposent des systèmes de régulation hygrométrique semi-passifs pour les vitrines, utilisant l'action électrolytique de membranes polymères. Plusieurs études, effectuées notamment par le LRMH, ont démontré l'efficacité de tels systèmes en laboratoire mais également en conditions réelles.

Ce système constitue une alternative aux systèmes passifs par sorbants demandant une surveillance et des interventions de régénération régulière, ou aux systèmes actifs souvent coûteux et demandant entretien et maintenance.

Afin de mieux cerner les performances et les éventuelles limites de tels systèmes, encore assez peu déployés dans le grand Sud-Est, le CICRP s'est équipé fin 2021 d'une vitrine « test » doté d'un système de double régulation par membranes électrolytiques en polymère (humidification et déshumidification). Le montage du dispositif et la mise en service du système ont été effectués en 2022.

Cette démarche vise la complémentarité avec les recherches déjà menées au LRMH et au Louvre. Il s'agira d'une part, d'évaluer l'efficacité de ces systèmes d'humidification dans un climat de type méditerranéen comprenant de fréquents épisodes chauds et secs et, d'autre part, d'étudier plus spécifiquement l'utilisation de ce type d'équipement pour la conservation des matériaux organiques.

**En 2023, les premiers tests de performances du système seront réalisés. L'efficacité de la régulation à l'intérieur de la vitrine étanche sera notamment évaluée dans différentes conditions thermo-hygrométriques extérieures.**

## PRÉVENTION ET TRAITEMENT EN MATIÈRE DE DÉCONTAMINATION ET DE DÉSINSECTISATION

### La détection précoce des insectes nuisibles par la caractérisation des composés organiques volatils (COV) issus de la dégradation de la cellulose du bois

Début du programme : 2019

CICRP : Fabien Fohrer  
Partenariat : CSTB

Les produits de construction et de décoration en bois sont des éléments majeurs présents dans les environnements intérieurs, notamment dans le domaine patrimonial. La durabilité des bois d'œuvre et ouvrés peut-être menacée par des agents biologiques de dégradation, dont les insectes à larves xylophages. Parmi ces insectes ravageurs, deux espèces de vrillettes, *Anobium punctatum* (petite vrillette) et *Oligomerus ptilinoides* (vrillette brune), ainsi que le *Lyctus brunneus*, sont très fréquemment identifiées lors d'infestations. La détection précoce de ces insectes ravageurs constitue un objectif majeur pour prévenir la dégradation du bois et limiter ainsi l'emploi de traitements curatifs qui sont potentiellement nocifs, coûteux voire délétères pour les objets patrimoniaux. Dans ce contexte, cette recherche vise à étudier d'une part, les émissions volatiles associées à l'activité de ces insectes xylophages et, d'autre part, l'empreinte chimique globale que peut générer la vermoulure issue de différentes espèces fréquemment identifiées lors d'infestation.

En 2017, une étudiante en stage au CSTB a analysé les vermoultures de trois espèces d'insectes, fournies par le CICRP. Les premiers résultats d'analyse montrent qu'il est possible de mettre en évidence la spécificité de ces différentes empreintes volatiles au niveau de l'espèce, dans les conditions d'essai.

**Le CICRP est intervenu, avec le CSTB et le LRHM, dans le cadre du séminaire du 29 novembre 2022. En 2023, des essais sur les empreintes chimiques des vermoultures issues de différentes espèces d'insectes seront réalisés.**

### Analyse des traces d'activité des insectes nécrophages - Réalisation d'un Atlas d'identification

Début du programme : 2022

CICRP : Fabien Fohrer  
Partenariats : Magali Toriti, Anthraco-entomologiste, Le Mans Université - Membre associée, CReAAH\*-UMR 6566

L'identification des insectes se réalise, dans la plupart des cas, à partir de la morphologie externe et interne des adultes. Or, ces derniers ont un temps de vie assez court, ne sont présents dans l'environnement que peu de temps et passent souvent inaperçus.

Toutefois, leurs larves se développent pratiquement tout au long de l'année et les traces d'activité qu'elles occasionnent peuvent permettre une identification jusqu'à l'espèce. Cette identification, à

partir des traces d'activité, a été développée avec succès pour les insectes xylophages et a fait l'objet de plusieurs publications (Fohrer and al. 2017 ; Toriti and al. 2018 ; A. Durand, M. Toriti, F. Fohrer : *Traces of common xylophagous insects in wood: Atlas of identification – Western Europe, July 2021*). Celles-ci permettent de discriminer les différentes espèces à partir de leurs traces d'activité que sont les galeries, les trous d'émergence et les vermoulures. Cette recherche peut être envisagée pour d'autres groupes d'insectes tels que les insectes nécrophages.

En 2022 a débuté la rédaction d'un atlas d'identification des espèces d'insectes nécrophages les plus communes rencontrées dans les lieux muséographiques. Il répertorie ces insectes, principalement les coléoptères de la famille des Dermestidae, mais aussi quelques espèces polyphages de la famille des Ptinidae à partir de leurs traces d'activité et notamment leur vermoulure. A terme cette recherche fera l'objet d'une monographie intitulée : « Les traces d'activité des insectes nécrophages des lieux muséographiques : Atlas d'identification ».

**En 2023, à la suite de la récupération d'échantillons biologiques au cours des diagnostics, les traces d'activité d'une quinzaine d'espèces d'insectes nécrophages seront étudiées et comparées entre elles afin d'élaborer le début de l'atlas d'identification.**

**Utilisation de la spectrométrie de masse de type MALDI-TOF (matrix-assisted laser desorption ionization-time of flight) pour l'identification des insectes nuisibles du patrimoine : faisabilité, limites d'emploi et création d'une base de données de spectres de référence**

Début du programme : 2022

CICRP : Fabien Fohrer

Partenariats : IHU\* (VITroMe\*, Pr Parola), Marseille

L'identification des insectes s'effectue bien souvent par une étude morphologique et, plus récemment, à l'aide d'outils moléculaires. Cependant, ces deux méthodes sont chronophages et nécessitent une expertise et un équipement spécifiques. La spectrométrie de masse MALDI-TOF, qui a révolutionné l'identification de routine des micro-organismes dans les laboratoires de microbiologie clinique, a récemment été appliquée avec succès à l'identification des insectes vecteurs.

Cette technique est constituée d'un spectromètre de masse couplant une source d'ionisation laser assistée par une matrice (MALDI, *Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization*) et un analyseur à temps de vol (TOF, *time-of-flight mass spectrometry*).

Lors de l'analyse, des macromolécules et des protéines uniques et spécifiques sont générées, ce qui permet une identification précise des espèces lorsqu'elles sont interrogées par rapport à une base de données de spectres de référence. Cependant, les modes de stockage des échantillons influencent la qualité des spectres, les insectes frais et congelés apportant les meilleurs résultats.

Le but de cette recherche est de créer une base de données de spectres de référence par la réalisation d'un protocole d'analyse et d'échantillonnage afin de permettre l'identification des insectes nuisibles rencontrés dans le patrimoine, voire à partir de leurs déjections.

Elle permettra de développer une méthode compétitive pour l'identification rapide, fiable et peu coûteuse. Les coûts d'exploitation de cette technique sont très faibles par rapport aux techniques moléculaires.

De plus, aucune expertise particulière n'est requise par rapport à l'identification morphologique et il est probable que la technique MALDI-TOF MS pourra devenir une méthode de référence pour

l'identification de ces insectes et des arthropodes en général.

Quelques fructueux essais ont été réalisés en 2022 sur deux espèces d'insectes, *Attagenus smirnovi* et *Trogoderma versicolor*, avec l'obtention des spectres de référence et du protocole d'analyse pour ces espèces.

**En 2023, plusieurs autres espèces seront étudiées afin d'obtenir leur spectre de référence et ainsi développer un protocole d'analyse normalisé.**

## TRAITEMENT EN CONSERVATION-RESTAURATION

### Corrosion atmosphérique et altération mécanique du bronze campanaire : un patrimoine sonore et artistique en danger ?

Associé au programme ANR\* « jeune chercheur » 2018-2022

CICRP : Jean-Marc Vallet

Partenariats : LISA\* - Université de Créteil (porteur), ICMPE\* Créteil, Laboratoire d'Acoustique de l'université du Maine, Laboratoire de Mécanique Multiphysique et Multiéchelle (Lille), Laboratoire de Minéralogie et Cosmochimie – MNHN\*, ESRF\* (Grenoble), Laboratoire Géomatériaux et Environnement, Institut de Physique du Globe de Paris

Le CICRP est associé à cette ANR « jeune chercheur » pour une assistance sur la caractérisation des phénomènes physico-chimiques des altérations, en mettant en particulier à disposition sa plateforme de vieillissement naturel pour l'étude de la corrosion en atmosphère marine des bronzes constituant les cloches. En effet, ce projet vise, dans des conditions atmosphériques réalistes (dépôts secs / humides), à comprendre et à évaluer les conséquences des processus de corrosion subis par le matériau, en surface et à l'intérieur même de l'alliage, dans son environnement naturel.

La crise sanitaire a engendré un retard dans le déroulement du projet en 2020, qui a été compensé grâce à l'octroi par l'ANR de 6 mois supplémentaires. En 2022 s'est déroulée la soutenance de la thèse de Caroline Blanc « Contribution à l'étude de la corrosion atmosphérique du bronze campanaire » (sciences des matériaux du patrimoine, université Paris Est Créteil).

**En 2023 va s'achever l'ANR. L'activité sera consacrée au prélèvement du dernier échantillon mis en vieillissement sur le toit du Mucem et à la participation aux réunions de clôture et rédaction du rapport final.**

## ARCHÉOMÉTRIE

### Caractérisation et datation des résidus de la carbonatation de la chaux en contexte archéologique

Début du programme : 2017

CICRP : Jean-Marc Vallet, Jérémie Berthonneau

Partenariats : CCJ\*-SRA\* (UMR 7299), CINaM-AMU\* (UMR 7325)

L'identification de résidus provenant de la carbonatation de la chaux constitue un marqueur technologique crucial en archéologie. Celle-ci s'avère très difficile dans des contextes archéologiques complexes car ces résidus sont majoritairement composés d'un minéral, la calcite, naturellement présent dans les roches carbonatées, les marbres et les coquilles d'animaux. Ce programme de recherche a donc pour objectif de différencier les calcites d'origines pyrogénétiques, géologiques et biologiques. Il s'agit d'une problématique énoncée depuis plus d'un siècle par les archéologues qui se retrouvent en présence de dépôts blancs dans des contextes artisanaux, agricoles ou architecturaux mal définis.

A ce jour, un corpus d'échantillons de calcites d'origines pyrogénétiques, géologiques et biologiques variées a été caractérisé expérimentalement en collaboration avec le CINaM (AMU – UMR 7325). Les critères cristallographiques de différenciation des résidus de la carbonatation de la chaux établis lors de ces travaux, ont été appliqués à plusieurs cas d'études suivis par le SRA (CCJ-SRA – UMR 7299). Par exemple, cette approche a permis de statuer sur l'origine de plusieurs prélèvements provenant du sanctuaire gaulois de la Cime de la Tournerie, localisé sur la commune de Roubion (Alpes-Maritimes). La datation radiocarbone ( $^{14}\text{C}$ ) de ces échantillons, antérieure à la fin du III<sup>e</sup> s. avant J.-C., soulevait la question de la fabrication et des usages de la chaux par les Gaulois au cours de l'âge du Fer. L'analyse cristallographique a permis de mettre en évidence que ces résidus provenaient de la combustion de pierres calcaires lors d'un incendie ayant détruit le site et donc d'infirmier la fabrication et l'usage de la chaux. Au-delà de ce cas d'étude, la possibilité d'identifier et de dater de façon satisfaisante le phénomène de carbonatation de la chaux ouvre des perspectives intéressantes pour les connaissances en archéologie mais aussi dans le cadre des études de conservation-restauration des mortiers anciens employés en maçonnerie ou en support de peintures murales.

**En 2023, un article de revue des méthodes d'analyses cristallographiques, microscopiques, spectroscopiques et isotopiques et la mise en place d'une chaîne opératoire permettant de différencier les calcites pyrogénétiques, géologiques et biologiques sera rédigé pour publication dans une revue de rang A. Une méthode de couplage microscopique et isotopique ( $\delta^{13}\text{C}$  /  $\delta^{18}\text{O}$  et  $^{14}\text{C}$ ) permettant la caractérisation et la datation des résidus de la carbonatation de la chaux au sein de mortiers anciens sera ensuite développée.**

### Conservation des pétroglyphes du site du Mont Bego

Début du programme : 2015

CICRP : Jean-Marc Vallet, Philippe Bromblet, Jérémie Berthonneau, Odile Guillon

Partenariats : CCJ-SRA (UMR 7299), CINaM-AMU (UMR 7325), Parc national du Mercantour, musée des Merveilles de Tende

Les vallées du Mont Bego (Parc national du Mercantour) sont parsemées de plusieurs milliers de pétroglyphes majoritairement datés entre 1800 et 1500 av. J.-C. Ces gravures ont été réalisées par une succession de percussions sur la fine couche rouge recouvrant les affleurements rocheux pour mettre au jour le matériau verdâtre sous-jacent, créant ainsi un contraste chromatique accentuant leur lisibilité. Or, différentes missions menées par le CICRP entre 2005 et 2015 ont mis en évidence de nombreuses figures d'altération allant jusqu'à la disparition de certaines gravures par décoloration, desquamation en plaques ou recouvrement biologique. Dans le but d'assurer la pérennité du site, un programme de recherche a donc été initié par le SRA (CCJ-SRA – UMR 7299) de la DRAC\* PACA afin de définir les conditions nécessaires à sa conservation.

Dans ce cadre, une étude minéralogique et pétrographique multi-échelles du contraste chromatique a été conduite sur des échantillons prélevés *in situ*, en partenariat avec le CINaM (AMU – UMR 7325). Elle a permis de déterminer que la couche rouge résultait de la présence de nanoparticules d'hématite issues de la mobilisation du fer structural des minéraux argileux constitutifs du matériau rocheux et agrégées à leurs surfaces. Ces résultats, obtenus au cours d'une vacation de 5 mois du ministère de la Culture en 2020, ont récemment fait l'objet d'une publication dans la revue *Geoarchaeology*.

**En 2023, un projet de développement de protocole de suivi non destructif couplant des méthodes colorimétrique, photographiques (infrarouge, UV, RTI, etc.), thermographique et photogrammétrique sera proposé à la FSP pour le financement d'un contrat postdoctoral. L'objectif final est de mettre en place un modèle prédictif visant à évaluer les risques et la cinétique de dégradation des surfaces gravées. *In fine*, cela permettra de proposer les méthodes de conservation préventives ou curatives les plus appropriées aux cas de figure rencontrés sur les sites.**

## NOUVEAUX PROGRAMMES DE RECHERCHE

### Formulation et durabilité des enduits de Restauration exposés aux embruns marins (FURAX)

Programme : 2023-2025

CICRP : Philippe Bromblet et Jérémie Berthonneau

Partenariats : CRMH Corse, CMN, CRMH Occitanie, CRMH PACA, société des ciments Vicat, société des chaux de Saint-Astier

Sur les bâtiments situés en bord de mer, les enduits anciens sont souvent très dégradés par des cristallisations salines apportées par les embruns marins. On a pu constater sur plusieurs monuments que, si la réfection partielle ou totale de ces enduits était réalisée avec des enduits traditionnels à la chaux, ils se dégradent en quelques années. Quelques nouvelles formulations utilisant de la chaux hydraulique, du ciment naturel, de la pouzzolane, ont été développées plus ou moins empiriquement et sont appliquées sur certains chantiers (château d'If, citadelle de Bonifacio, église de Collioure...).

**A partir de 2023, le CICRP, qui assiste les maîtres d'œuvre sur ces chantiers, se propose de réaliser une étude systématique de formulations expérimentales dont la durabilité sera testée en enceinte à brouillard salin. Les mélanges seront réalisés à base de chaux aérienne (CL, DL) ou hydraulique (NHL) et sable quartzéux. Ces mélanges seront bâtarisés avec des liants hydrauliques variés (ciment naturel, ciment prise marine...) et des agrégats pouzzolaniques (pouzzolane, tuf, tuileau, kaolin...). Des adjuvants particuliers seront testés (inhibiteur, convertisseur, rétenteur d'air, hydrofuge de masse, etc.). La tenue de ces enduits sera étudiée par des méthodes non destructives et destructives (prise en sel, vitesse du son, abrasion...). Le rôle des ciments, des agrégats pouzzolaniques et des adjuvants sur l'action des sels sera évalué par des examens multi-échelles macro et microscopiques avant et après vieillissement.**

### Caractérisation d'un système d'accrochage adapté à la conservation des toiles libres dans les collections d'art moderne et contemporain

Début du programme : 2023

CICRP : Nicolas Bouillon, Fanny Bauchau

Partenariats : LMGC\*, UMR-CNRS-Université de Montpellier (Frédéric Dubois, Vincent Huon) et Carole Husson, restauratrice

Traditionnellement, les peintures sur toile sont réalisées et exposées tendues sur un châssis. A l'époque contemporaine, dès 1962, des artistes cherchent à bouleverser les pratiques picturales et remettent notamment en cause le principe même de la toile sur châssis, préférant peindre sur des toiles non tendues, dites « toiles libres ». Parmi ces artistes, on peut citer Albert Ayme, le groupe Supports/Surfaces dont fait partie Claude Viallat, ou encore le groupe BMPT (Buren, Mosset, Parmentier, Toroni).

Aujourd'hui, ces œuvres font partie des collections des musées français (Centre Pompidou, musée d'Art Moderne de Paris, musée Fabre de Montpellier, MAC de Marseille, etc.) et des questions

spécifiques se posent quant à leur conservation, lors de leur exposition ou de leur stockage en réserve. En effet, l'accrochage de ces toiles sans châssis soulève des difficultés particulières.

Plusieurs systèmes inspirés de l'accrochage des tapisseries ont été utilisés par les restaurateurs ces dernières décennies, mais ils se révèlent parfois peu adaptés à des toiles peintes. C'est dans ce contexte que la restauratrice partenaire du projet a développé un système d'accrochage basé sur l'utilisation d'un ruban aimanté à base de néodyme. Ce système, permettant un accrochage par adhésion magnétique du bord supérieur de la toile sur une contreforme métallique fixée au mur, apparaît comme particulièrement peu invasif et adapté aux contraintes muséographiques.

Le CICRP, le LMGC, spécialisé dans la caractérisation et la modélisation du comportement des matériaux et des structures par approches expérimentales et numériques, et la restauratrice conceptrice du système ont décidé de mutualiser leurs compétences dans le cadre d'une collaboration de recherche visant à étudier le système proposé et plus largement à répondre à la problématique d'accrochage des toiles libres et à l'étude des contraintes associées.

**En 2023, le LMGC et le CICRP proposent un stage de master 2 recherche afin d'étudier les propriétés mécaniques du système d'accrochage par ruban néodyme, à partir d'éprouvettes de taille réduite. Il s'agira d'une part d'évaluer l'efficacité du système et d'autre part d'étudier l'influence des matériaux utilisés et des différentes possibilités de mise en œuvre sur la conservation de l'œuvre.**

### Etude de la technique de réalisation des gouaches découpées (Cut-outs) d'Henri Matisse

Début du programme : 2023

CICRP : Nicolas Bouillon, Fanny Bauchau, Emile Hubert

Partenariats envisagés : Musée Matisse de Nice, Anne Coron (chercheuse indépendante), MNAM-CGP

En 2019-2020, le musée Matisse de Nice a sollicité l'expertise du CICRP concernant les problématiques de conservation préventive soulevées par le remplacement de la vitrine de *Fleurs et fruits*, une gouache découpée de très grand format. Il s'agissait notamment d'envisager l'intégration d'un système de gestion et suivi des conditions climatiques à l'intérieur et à l'extérieur de la nouvelle vitrine.

A cette occasion, le musée a présenté lors d'une journée d'étude l'état des recherches menées sur les gouaches découpées par Anne Coron dans le cadre de ses travaux de doctorat.

Dans ce contexte, le musée Matisse a proposé au CICRP une collaboration de recherche afin d'effectuer des analyses sur leurs collections de gouaches découpées. L'accès aux œuvres étant rendu possible dans le cadre de leur restauration, le CICRP a effectué une première mission *in situ* de trois jours, axée sur la réalisation d'un dossier d'imagerie scientifique et l'utilisation de plusieurs techniques d'analyses non destructives (spectrocolorimétrie, microscopie Dinolite, MFX\*). Ces travaux visent à mieux comprendre les techniques de réalisation des gouaches découpées en interrogeant la nature des matériaux constitutifs et les traces matérielles du processus de création. Ils peuvent s'appuyer sur l'étude des œuvres conservées au musée mais également sur les ressources du fonds d'archives Matisse, incluant des fonds de composition, des chutes et formes de gouache découpée ou encore des tubes de peinture. Ces travaux, inédits sur les œuvres du musée Matisse, s'intègrent aux recherches déjà menées par la Fondation Beyeler sur *Les Acanthes* et la National Gallery of Art of Washington sur la *Grande Décoration aux Masques*.

En 2023, le CICRP et le musée Matisse envisagent de monter un partenariat de recherche avec d'autres institutions possédant des gouaches découpées dans leur collection comme le MNAM-CGP, la Fondation Beyeler ou la National Gallery of Art of Washington.

### Etude des liants volatils dans la consolidation temporaire de matériaux archéologiques (VOLATILE4ARCHAEO)

Programme : 2021-2023

Financé par le programme de recherche européen ref. Ares(2020)5388386 - 09/10/2020 Individual Fellowships (IF) 2020

CICRP : Jean-Marc Vallet

Partenariats : Université du Fayoum (porteur), Université de Bologne

Ce programme de recherche européen (Ref. Ares(2020)5388386 - 09/10/2020 Individual Fellowships (IF) 2020), basé sur l'accueil d'un chercheur de l'Université du Fayoum (Egypte), a pour but d'étudier de manière exhaustive et de comparer certains liants volatils (VBM) sélectionnés, purs ou en mélanges. Outre le cyclododécane (CDD), les consolidants émergents suivants seront testés : cyclododécane, menthol, camphène, cyclododécanone et cyclododécanol. Par ailleurs, les mélanges suivants seront testés : camphène-cyclododécanone, camphène-CDD, camphène-cyclododécanol, menthol-CDD, menthol-cyclododécanone, menthol-cyclodécanol, menthol-camphène. Ces mélanges de différents VBM, ayant des points de fusion et des vitesses de sublimation différents, devraient permettre l'adaptation du temps de sublimation, en fonction du but de la consolidation temporaire (temps long ou court). Deux substrats différents seront considérés, à savoir la peinture murale (a *tempera*), les céramiques. Des tests expérimentaux seront menés sur des échantillons de laboratoire, mimant des matériaux détériorés, afin de mettre en évidence les interactions possibles VBM-substrat.

En 2022, des travaux ont été menés à l'université de Bologne sur des systèmes simplifiés (travaux sur supports simples (verre, marbre calcaire) et en mettant en œuvre diverses techniques de caractérisation (colorimétrie, DSC\*, PGA\*, DTA\*, microscopie optique, XRD\*, résistance à la compression).

En 2023, le chercheur accueilli au CICRP travaillera sur l'évaluation des meilleurs VBM et mélanges, déterminés au préalable à l'université de Bologne sur des éprouvettes et, éventuellement, sur des peintures murales devant être restaurées. Les résultats feront l'objet de publications, ainsi que de présentations à des conférences.

### Etude du comportement alimentaire par la technique ATAX de quelques espèces de larves d'insectes xylophages en condition de privation d'oxygène

Début du programme : 2023

CICRP : Fabien Fohrer

Les techniques de privation d'oxygène sont largement utilisées pour éradiquer les insectes présents dans les œuvres patrimoniales. Or, lors d'un traitement, il est impossible de comprendre le comportement alimentaire des larves soumis à une telle privation.

Cette étude permettra d'analyser la réaction des insectes lors de leur prise de nourriture lorsqu'ils sont

soumis à une diminution d'oxygène. L'intensité et la fréquence des prises de nourriture peuvent être analysées en temps réel à l'aide de la technique ATAX (Analyse des Traces d'Activité Xylophages).

A partir de témoins de bois infestés et placés sous différentes conditions thermo-hygrométriques, les essais permettront de définir le taux d'oxygène minimum à partir duquel les larves ne s'alimentent plus et de vérifier qu'il n'y ait pas un redémarrage de prise de nourriture après une remise à l'air. Les premiers essais seront réalisés sous anoxie statique avec absorbeurs d'oxygène pour trois espèces d'insectes xylophages communes, la petite vrillette *Anobium punctatum*, la vrillette brune *Oligomerus ptilinoides* et le Lyctus brun *Lyctus brunneus*.

En 2023, les premiers essais seront réalisés à partir d'une poche expérimentale permettant de prendre les différentes mesures d'oxygène en relation avec l'activité des insectes xylophages en temps réel.



**PROGRAMME  
D'INVESTISSEMENTS  
D'AVENIR :  
EQUIPEX+ ESPADON**

---

## EN SCIENCES DU PATRIMOINE, L'ANALYSE DYNAMIQUE DES OBJETS ANCIENS ET NUMÉRIQUES (ESPADON)

Programme : 2021-2028

Financé dans le cadre d'un projet EquipEx

CICRP : Jean-Marc Vallet, Philippe Bromblet, Nicolas Bouillon, Odile Guillon, Emilie Hubert-Joly

Partenariats : FSP, Cergy Paris Université, Université de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines, Université de Paris-Saclay, MNHN, INP, Ecole nationale des Chartes, Université Paris Nanterre, CNRS\*, CEA, C2RMF, LRMH

ESPADON est un des lauréats de l'appel à manifestations d'intérêt Equipements structurants pour la recherche (P.I.A. 3 ou E.S.R./EquipEx+) dans le cadre du Grand Plan d'Investissement de l'Etat. Ce projet de 8 ans, piloté par la FSP et dont le coordinateur scientifique est Vincent Detalle (C2RMF), a pour objectif de proposer un outil multidimensionnel, transdisciplinaire et distribué, conçu comme un véritable système d'information agrégeant toutes les informations produites et en cours de production, sur et autour d'un objet *s. l.*<sup>1</sup> Il va conduire à la création d'Objets du Patrimoine Augmentés qui intègrent autour et avec l'objet patrimonial lui-même toute information le concernant.

La notion d'Objets du Patrimoine Augmenté nécessite une coconstruction pluridisciplinaire depuis la conception même des outils et la sélection des sources d'information, jusqu'à la création de nouvelles données et services.

Dans ce cadre, différents outils, procédures, approches nouvelles vont être développés. Le CICRP est, dans ce consortium, responsable et impliqué dans le développement de trois outils, qui seront basés au CICRP et accessibles *in fine* aux communautés travaillant sur la connaissance et la conservation des biens culturels :

- Spectromètre couplé LIBS\*-Raman sur drone (équipes partenaires : CICRP, C2RMF, MAP-ARIA)
- Caméra thermique à haute fréquence (équipes partenaires dans ESPADON : CICRP, C2RMF)
- Plateforme d'imagerie et de caractérisation photoacoustique (équipes partenaires : CICRP, LMA, SATIE).

Ces développements s'inscrivent plus particulièrement dans le cadre du groupe de travail 4 "Patrimoine Architectural, Sites, Territoires Archéologiques et Grands Artéfacts" (Pastaga).

Une thèse concernant l'équipement photoacoustique a débuté fin 2021. Son intitulé est "Caractérisation et imagerie acoustiques des dégradations des pierres pour la conservation des patrimoines bâtis et statuaire". Elle se déroule au CICRP. La doctorante est Marie-Laure Chavazas. La direction de thèse est assurée par le Pr C. Payan (LMA) avec en codirection, P. Bromblet (CICRP) et J. Berthonneau (CICRP).

Une autre thèse, financée par la FSP, a débuté en septembre 2022. Son intitulé est « AMUSIE : vers une Analyse MULTimodale de conservation en Sciences du patrimoine ». Le projet de thèse AMUSIE se propose d'accorder les techniques d'imagerie THz / OCT\* / Radar / Thermographie IR stimulée / Photogrammétrie, et de les faire se rencontrer dans un même espace pour finalement créer une symphonie répondant aux objectifs de constat d'état de la constitution structurelle d'un objet ou d'un patrimoine monumental, et/ou de contrôle avant/après restauration. La démonstration sera faite en

appliquant l'intégration des différentes données complémentaires à plusieurs types d'œuvres : églises décorées, peintures murales, retables polychromés. Le directeur de thèse est le Pr N. Wilkie-Chancelier de l'université de Cergy (laboratoire SATIE). Les partenaires sont : X. Bai (C2RMF), N. Bouillon (CICRP), V. Detalle (université de Cergy), D. Giovannacci (LRMH), S.-E. Hebaz (université de Cergy, laboratoire SATIE), Y. Mélinge (LRMH), A. Pamart (MAP), R. Pillay (C2RMF) et J.-M. Vallet (CICRP).

Par ailleurs, une thèse financée par une bourse CIFRE\* va débuter fin 2022. Son but est de coordonner l'ensemble des données climatiques pertinentes, d'une échelle large (satellite et métrique) à l'échelle de l'objet patrimonial, en intégrant son microclimat extérieur et intérieur, afin de tester un ou des modèles prédictifs de son état de conservation. Elle comportera deux axes, soit la mise en corrélation de ces données avec :

- différentes réponses mesurables de l'objet patrimonial face aux variations climatiques, pour aller vers la modélisation de son comportement en fonction de son environnement ;
- les données issues de la bibliographie donnant les limites de transformation irréversible des matériaux constituant l'objet patrimonial, ce à différents états de vieillissement.

Elle aura aussi pour but d'explorer l'apprentissage non supervisé topologique à base de réseaux de neurones et probabilistes de données multimodales complexes, à la fois aux niveaux spatial et temporel.

Les directeurs de thèse sont le Pr N. Grozavu de l'université de Cergy (laboratoire ETIS\*) et A. Bourguès (C2RMF), avec en coencadrement F. Surma (entreprise Epitopos), M. Labouré (Mescla) et J.-M. Vallet (CICRP). Cette thèse s'inscrit dans le cadre du groupe de travail 6 « Climat, Interface et Patrimoine » (CLIP).

**En 2023 seront poursuivis les thèses en cours et les achats des équipements. Il est prévu de commencer les premiers tests de ces équipements à la fin de l'année 2023.**

<sup>1</sup> Objet au sens large : objet matériel entier ou partie d'objet, comprenant aussi ses aspects immatériels et site patrimonial

**LABCOM**

---

L'évaluation de l'HCERES\* s'est achevée à la fin de l'année 2022. La reconduction du LabCom MAP-CICRP va être discutée et le contenu du nouveau quinquennat, en cours de préparation, sera soumis à la fin de 2023 aux instances du CNRS. Les axes de recherche communs pour le prochain LabCom vont être définis, incluant d'ores et déjà les collaborations internes au MAP pour la mise au point et le développement des nouveaux équipements qui vont être financés dans le cadre du programme Equipex ESPADON et qui répondront aussi à la définition de l'Objet Patrimonial Augmenté qui est au cœur de ce projet.

## AIOLI

Depuis plusieurs années, le CICRP contribue au développement de la plateforme d'annotation sémantique spatialisée en 3D Aioli, réalisé par le MAP-Gamsau\*. Dans le cadre du LabCom, une collaboration étroite des ingénieurs du CICRP avec les ingénieurs et développeurs du MAP s'est mise en place à partir de 2019. Les travaux se sont concentrés sur l'organisation et la structuration des annotations afin de répondre aux spécificités métiers des différents acteurs de la conservation-restauration (conservateur, restaurateurs, scientifiques...). Plusieurs « projets test » de documentation numérique 3D, réalisés entre 2018 et 2022 sur des peintures de chevalet et murales en restauration ont constitué un bêta-testing de l'outil. Le retour d'expérience a permis de résoudre certains problèmes techniques, d'identifier des pistes d'amélioration et le besoin de nouvelles fonctionnalités. Le CICRP a également contribué à l'implémentation dans la plateforme d'un gestionnaire de thésaurus, en fournissant notamment le thésaurus d'altérations des peintures élaboré dans le cadre du contrat de vacation de 5 mois d'Isabelle Cao effectué au CICRP en 2020-2021.

**En 2023, le CICRP et le MAP évalueront, dans le cadre du LabCom, l'opportunité de poursuivre les travaux de développement de la plateforme, en fonction des moyens disponibles, notamment en termes de développement informatique.**

## ORTHO-PHOTOGRAMMÉTRIE SOUS DIFFÉRENTS RAYONNEMENTS DE PAROIS VERTICALES INTERNES PAR DRONE

CICRP : Jean-Marc Vallet, Odile Guillon

Partenariats : MAP-ARIA, MAP-Gamsau, ITheMM-Université de Reims Champagne-Ardenne, IGN\*

Le relevé de grands espaces intérieurs par ortho-photodocumentation (lumière directe, IR et thermographie IR passive) et la fusion des données ont été expérimentés suite aux projets internes au MAP et associant CICRP, MAP-ARIA et MAP-Gamsau (Phorayver et Phorayver-2), qui avaient pour but d'explorer les possibilités de relevés photogrammétriques par drone. Ces premiers essais, menés en 2019 et en 2021, ont montré la validité de la démarche, par la réalisation rapide d'un relevé photogrammétrique dans le domaine du visible et en IR en utilisant deux appareils photos embarqués sur drone piloté manuellement.

Par ailleurs, des essais en thermographie IR en mode passif ont montré qu'il était possible d'envisager ce type d'investigation utilisant le même support autopiloté.

Depuis 2021 et grâce au programme d'équipement Equipex « Espadon » (cf. ci-dessus), ce programme va être poursuivi et enrichi par la création et la mise en œuvre de deux nouveaux équipements. Seront en effet développés un couplage LIBS\*-Raman monté sur drone et un équipement de RTI sur drone. Un nouveau drone devrait être acquis dans le cadre de cet Equipex par le MAP-ARIA et sera testé sur site.

La suite du projet va tout d'abord avoir pour but, après la construction des appareils, de réaliser des relevés de parois intérieures par photogrammétrie multibandes (lumière directe, IR et thermographie IR passive) et des analyses ponctuelles par LIBS-Raman sur ces parois par dispositifs embarqués. Par ailleurs, un autre objectif va être de définir et de mettre en œuvre des protocoles de pilotage de drone et de contrôle assistés, voire automatisés.

La mise en place expérimentale et la validation de cette technique de relevé sont en cours et sont effectuées dans la chapelle Notre-Dame-des-Fontaines (La Brigue), par ailleurs très documentée suite aux différents programmes de recherche menés sur ce site (ANR Monumentum, CNRS Défi « Imag'In » FiatLux).

**L'année 2023 sera consacrée d'une part à la poursuite de l'exploitation des données déjà acquises sur la chapelle Notre-Dame-des-Fontaines, et d'autre part à la poursuite d'acquisition par vol manuel afin d'affiner les premiers résultats obtenus. Un projet ayant pour objectif la consolidation des protocoles d'acquisition et de vol, avec mise en place d'un système d'automatisation des acquisitions par drone en intérieur, va aussi être développé.**

# FORMATIONS PROPOSÉES PAR LE CICRP

---

## L'IMAGERIE DOCUMENTAIRE ET SCIENTIFIQUE EN CONSERVATION-RESTAURATION

Objectif : définition, méthodologie de prise de vue et exploitation-interprétation des données

2 sessions distinctes de trois journées chacune seront proposées en 2023 :

### Session 1 : De la prise en main des outils à l'exploitation première de l'imagerie documentaire

Appréhender des notions de base de la photographie (acquisition et traitement) et les mettre en pratique.

- Prise en main de l'appareil photographique
- Équipements et outils de travail pour assurer une bonne documentation
- Conditions de prises de vues (studio, terrain) : éclairage, ...
- Élaboration de protocoles de suivi
- Exercices pratiques au CICRP réalisés par les stagiaires
- Présentation des divers outils de traitements de l'image (logiciels)
- Maîtrise de l'exploitation de ces outils de traitements
- Exploitation de ces images

### Session 2 : Aller au-delà de la première lecture de l'image

Faire de l'imagerie au service de la connaissance approfondie d'une œuvre et de sa matérialité. Approche méthodologique des différentes techniques d'imagerie 2D, de l'acquisition proprement dite à l'interprétation des résultats et leur exploitation. Une attention particulière sera donnée à la mise en place de protocoles d'acquisition et de traitements d'images réutilisables à des fins de comparaison, leurs spécificités et leurs limites.

- Imagerie technique exploitée
- Traitements particuliers de l'image numérique
- Définir l'imagerie pour révéler le bien culturel
- Lecture et interprétation partagées de l'imagerie (à partir de cas commentés par les photographes, scientifiques, restaurateurs, responsables des biens culturels)

Cette formation sera complétée par une introduction à l'imagerie 3D via la photogrammétrie et l'utilisation de l'imagerie technique dans ce domaine.

- Nouveaux apports des techniques 3D
- Photogrammétrie, 3D, RTI... : présentation des techniques et des apports

## CROQUEURS DE PATRIMOINE : AIDE AU DIAGNOSTIC

Objectif : identifier et évaluer les risques liés aux infestations entomologiques, prendre les mesures adaptées en cas d'infestation avérée.

Ces deux journées de formation technique visent à réaliser une collection d'insectes de référence à partir d'insectes prélevés dans les lieux patrimoniaux pour pouvoir, par la suite, plus facilement les identifier. La formation permet d'élaborer une boîte entomologique de référence et d'identifier les insectes à partir de clés d'identification simplifiées et au moyen de matériel optique adapté (loupe binoculaire) en lien avec la base de données « Insectes du patrimoine culturel » et d'autres ressources bibliographiques du web.

- Présentation des insectes « patrimoniaux »
- Le prélèvement des insectes : matériel et technique  
Mise en pratique au sein d'un espace muséographique
- Le matériel d'observation : la loupe binoculaire  
Prise en main et mode d'emploi de la loupe binoculaire. Les différents réglages à effectuer pour obtenir une observation optimisée. Prise en main et mode d'emploi du logiciel d'imagerie de la loupe binoculaire. Les différents réglages à effectuer pour obtenir une image optimisée. Matériel et prix.
- Le matériel de préparation des insectes
  - Comment ramollir les insectes en vue de leur préparation ? Comment étaler correctement les insectes ? Quelle colle utiliser ? Le montage des insectes sur paillettes : matériel et technique.
  - La préparation des insectes sur épingle seule. Le séchage des insectes avant mise en collection.
  - Le nettoyage des insectes avant préparation. Récupération des insectes à partir de cartons englués.
- Exercice pratique d'identification des insectes
- Utilisation des clés d'identification papiers et numériques
- Le vocabulaire entomologique et les glossaires
- La mise en collection des insectes :
  - La boîte à insectes.
  - Les produits de conservation de la collection.
  - Le rangement des insectes.
- Les références bibliographiques et les ouvrages spécialisés :
  - Les bases de données.
  - Les organismes et personnes qui peuvent aider à la détermination des insectes.

# VALORISATION

---

## LA BASE DE DONNÉES DE GESTION ET DE DOCUMENTATION PIERRE PUGET

La base Pierre Puget est devenue un outil précieux et efficace pour la gestion documentaire et photographique des biens culturels, la gestion des programmations des demandes, la consultation des rapports, des conventions et des mouvements des biens culturels traités par le CICRP. Cet outil documentaire et de gestion facilite la programmation des activités et des projets et produit des bilans à la demande.

Sur le plan du travail documentaire, la récupération des informations conservées sur divers supports numériques a permis de reconstituer la plus grande partie de l'historique documentaire et photographique du CICRP remontant à la période de 2002.

**Les prévisions de l'année 2023 sont :**

- En dehors de la maintenance en direct et à distance de la base, quelques adaptations seront à prévoir, par exemple l'enregistrement des demandes d'interventions, jusqu'à présent saisies sous Excel, et en proposer une présentation en tableau interactif.
- Le fonds photographique mérite encore une attention particulière. Un millier d'images restent orphelines. Une ultime relecture permettra de consulter, à quelques items près, la somme de l'activité photographique de l'institution, soit 70 000 clichés.
- Prévoir un hébergement des documents d'archives ou de notices liés à un objet pour centraliser sur la base certaines références papier.
- Vérifier le suivi de l'installation FileMaker sur le serveur général et sa surveillance.

## PIERRESUD

CICRP : Philippe Bromblet, Nathalie Gandolfo  
Partenariats : BRGM\*, CRMH PACA et Occitanie

Suite aux échanges avec le BRGM prolongés à cause de la crise sanitaire, le projet de refonte de PierreSud (base de données et site), gérée et hébergée au CICRP, est privilégié, en accord avec la CRMH PACA. Cette option, garantissant un suivi et un enrichissement régulier, conforte un secteur pierre/bâti renforcé au CICRP, grâce à la venue d'un ingénieur de recherche et d'une assistante ingénieure.

**Sur la base du projet de refonte proposé courant 2022 par le BRGM (version préliminaire de convention de refonte du système d'information de l'observatoire PierreSud...), la phase préalable de réunion et discussion entre les partenaires amorcée en 2022 sera prolongée début 2023 pour aboutir à la version finale de la convention de recherche et de développement qui définira les objectifs, les modalités de financement et de fonctionnement de la base et du site à venir. La phase opérationnelle de cette refonte, programmée sur une durée totale de 24 mois, devrait démarrer dans la seconde partie de l'année.**

Le CICRP poursuit son activité sur la recherche des carrières anciennes, notamment sur la sculpture protohistorique en Provence (partenariat ville de Marseille, CEREGE\*), et en Occitanie (partenariat CRMH, LRMH) sur la sculpture médiévale des cathédrales d'Albi, de Rodez et de Lavaur.



## PARTENARIAT AVEC LES ACADÉMIES D'AIX-MARSEILLE ET DE NICE

Un partenariat avait été mis en place depuis 2017 avec la direction territoriale Provence-Alpes-Côte d'Azur de Réseau Canopé, dans le cadre du développement de l'éducation artistique et culturelle et de la culture scientifique des élèves. Ce projet s'inscrivait dans les objectifs des deux ministères, de la Culture et de la Communication, et de l'Education nationale et de la Jeunesse, pour favoriser les ouvertures culturelles dans l'éducation, permettre aux élèves le développement de leur citoyenneté par les arts et la culture et ancrer les actions dans le cadre de parcours artistique et culturel et de parcours scientifique. La récente réorientation des missions de Réseau Canopé dans le domaine de la formation continue des enseignants conduit à poursuivre cette activité sans ce partenaire et directement en liaison avec les délégations académiques à l'éducation artistique et à l'action culturelle.

Les activités du CICRP permettent de donner une dimension scientifique au projet par l'approche des méthodes utilisées en restauration, conservation et recherche, par la visualisation des lieux et des œuvres du patrimoine et par la rencontre des professionnels des métiers d'art, des sciences et de l'ingénierie de recherche.

Chaque projet monté avec un établissement comprendra une rencontre entre les élèves, accompagnés de leurs enseignants, et les spécialistes du CICRP : ingénieurs, conservateurs, photographes, soit sur un site extérieur, soit au CICRP. L'engagement du CICRP devrait porter sur deux lycées par académie et une journée pour chacun des lycées.

**Pour l'année 2023, trois orientations se dessinent :**

- pour l'académie d'Aix-Marseille, un programme sur les insectes du patrimoine devrait être dispensé au lycée Poinso-Chapuis.
- pour l'académie de Nice,
  - la venue d'élèves du lycée Henri Matisse de Vence au CICRP autour de la restauration du tableau de Jean Daret, *Saint Jérôme et saint Antoine*, de l'ancienne cathédrale de Vence ;
  - la reprise d'une activité avec le lycée professionnel Golf Hôtel à Hyères sur les activités du bâti.

## MISE EN PLACE D'UN RÉFÉRENTIEL MATÉRIAUX PAR L'IMAGERIE

CICRP : Odile Guillon

Une réflexion est menée depuis plusieurs années, au sein de l'équipe scientifique du CICRP, sur l'utilisation des images composites IR et UV à des fins de pré-caractérisation de matériaux utilisés principalement en peinture.

De nombreux référentiels nous sont proposés via le web (C2RMF, CHSOS\*, ...), cependant ces référentiels de provenances diverses (publications, sites web...) ne nous offrent pas une qualité suffisante des images et nous n'en connaissons ni les protocoles d'acquisition, ni les protocoles de traitement des images. Tous ces paramètres peuvent générer des différences de rendu de couleur des matériaux.

Plusieurs référentiels ont déjà été réalisés au CICRP sur des chantiers tels que des pigments issus de fouilles archéologiques à Alexandrie (Egypte) ou une campagne d'imagerie sur des plafonds peints à closoirs à Puisserguier (Hérault). Un référentiel est en cours de réalisation sur un dossier mené avec le laboratoire MADIREL concernant une page illustrée d'un manuscrit des textes de Pétrarque de la bibliothèque de La Méjane à Aix-en-Provence.

Ce référentiel sera accessible à tous. Il sera accompagné d'une notice comprenant les méthodologies d'acquisition et de traitement des images réalisées.

## LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

**AMU** : Aix-Marseille Université  
**ANR** : Agence Nationale de la Recherche  
**Bnf** : Bibliothèque nationale de France  
**BRGM** : Bureau de Recherches Géologiques et Minières  
**C2RMF** : Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France  
**CCJ** : Centre Camille Jullian  
**CEA** : Commissariat à l'Énergie Atomique et aux énergies alternatives  
**CEREGE** : Centre Européen de Recherche et d'Enseignement de Géosciences de l'Environnement  
**CHSOS** : Cultural Heritage Science Open Source  
**CIFRE** : Conventions Industrielles de Formation par la Recherche  
**CINaM** : Centre Interdisciplinaire de Nanosciences de Marseille  
**CMN** : Centre des Monuments Nationaux  
**CNRS** : Centre National de la Recherche Scientifique  
**CPM** : Conservation du Patrimoine des Musées  
**CRC** : Centre de Recherche sur la Conservation  
**CreAAH** : Centre de Recherche en Archéologie, Archéosciences, Histoire  
**CRMH** : Conservation Régionale des Monuments Historiques  
**CSTB** : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment  
**DAE** : Département des Antiquités Égyptiennes  
**DRAC** : Direction régionale des affaires culturelles  
**DSC** : Differential scanning calorimetry  
**DTA** : Differential Thermal Analysis  
**ECATHERM** : CARactérisation THERophysique Multiéchelle  
**ESRF** : European Synchrotron Radiation Facility  
**ETIS** : Equipes Traitement de l'Information et Systèmes  
**FIB** : Focused Ion Beam  
**FSP** : Fondation des Sciences du Patrimoine  
**FSPI** : Fonds de Solidarité pour les Projets Innovants  
**GEC** : Géosciences et Environnement Cergy  
**GRESPI** : Groupe de Recherche en Science Pour l'Ingénieur  
**HCERES** : Haut Conseil de l'Évaluation de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur  
**ICMPE** : Institut de Chimie et des Matériaux Paris-Est  
**IFAO** : Institut Français d'Archéologie Orientale  
**IGN** : Institut national de l'information géographique et forestière  
**IHU** : Institut Hospitalo-Universitaire  
**INP** : Institut National du Patrimoine  
**ITheMM** : Institut de recherche scientifique dans les domaines de la thermique, de la mécanique et des matériaux  
**L2MGC** : Laboratoire de Mécanique et Matériaux du Génie Civil  
**LabCom** : Laboratoire Commun  
**LIBS** : Laser Induced Breakdown Spectroscopy  
**LISA** : Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques  
**LMA** : Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique

**LMGC** : Laboratoire de Mécanique et de Génie Civil  
**LRMH** : Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques  
**MAP** : Modèles et simulations pour l'Architecture et le Patrimoine  
**MAP-ARIA** : Applications et Recherches en Informatique pour l'Architecture  
**MAP-Gamsau** : Groupe de recherche pour l'Application des Méthodes Scientifiques à l'Architecture et à l'Urbanisme  
**MET** : microscope électronique à transmission  
**MFX** : Microfluorescence X  
**MNAM-CGP** : Musée National d'Art Moderne – Centre Georges Pompidou  
**MNHN** : Museum National d'Histoire Naturelle  
**Mucem** : Musée des civilisations de l'Europe et de la Méditerranée  
**OCT** : Optical Coherence Tomography  
**RTI** : Reflectance Transformation Imaging  
**SATIE** : Systèmes et Applications des Technologies de l'Information et de l'Energie  
**SATT** : Société d'Accélération du Transfert de Technologie  
**SRA** : Service Régional de l'Archéologie  
**TGA** : Thermogravimetric analysis  
**UMR** : Unité Mixte de Recherche  
**VITroMe** : Vecteurs – Infections Tropicales et Méditerranéennes  
**XRD** : X-Ray Diffraction

# CENTRE INTERDISCIPLINAIRE DE CONSERVATION ET DE RESTAURATION DU PATRIMOINE

---

21 rue Guibal  
13003 Marseille

[www.cicrp.fr](http://www.cicrp.fr)

