

SUJET DE THÈSE HYDROMAP 2026-2029

HYDROfilms et Mécanismes d'Adsorption sur les matériaux du Patrimoine

Lieux : Laboratoire SATIE (Systèmes et applications des technologies de l'information) – UMR 8029, CY Cergy-Paris Université (CYU), site de Neuville-sur-Oise.

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

Financement : Contrat doctoral obtenu via l'AAP Fondation des Sciences du Patrimoine.

Ecole Doctorale : Sciences et Ingénierie (ED SI – n°417) – CY Cergy Paris Université.

Début de thèse : 1^{er} octobre 2026.

Durée : 3 ans.

Pour postuler à cette offre, merci d'envoyer un cv et une lettre de motivation par email aux adresses mail ci-dessous.

Ann BOURGES, Ingénieure de Recherche HDR, ann.bourges@culture.gouv.fr

Stéphane SERFATY, Professeur des Universités, stephane.serfaty@cyu.fr

Nicolas WILKIE-CHANCELLIER, Professeur des Universités, nicolas.wilkie-chancellier@cyu.fr

Mots clefs : condensation – porosité – émissivité – analyse optique / acoustique / électromagnétique - traitement du signal – traitement d'image – données climatiques

1. Contexte & Objectif

Le changement climatique a un impact croissant et durable sur notre environnement et le patrimoine culturel en particulier n'a pas été épargné jusqu'à présent. Malheureusement, l'évaluation concrète de ses impacts sur les objets du patrimoine culturel est encore trop souvent peu prise en compte. Des constats d'état et des études précédentes ont identifié l'eau comme principal facteur de dégradation de ces matériaux et, une fois concentrée à la surface par le phénomène de condensation, elle peut dissoudre les supports, transporter des polluants et favoriser la croissance biologique. Il s'avère donc primordial d'étudier le phénomène en vue de limiter la formation d'un film d'eau à la surface d'un objet patrimonial, voire de détecter précocement les conditions qui aboutiront à son apparition.

L'objectif du projet de thèse HydroMAP est de mettre au point une méthodologie instrumentale permettant de détecter, de comprendre et de prédire les mécanismes amenant à la formation de points de rosée pour chaque matériau dans ses conditions environnementales relatives, dans le contexte du changement climatique.

De par l'implication des deux institutions patrimoniales partenaires du projet, à savoir le Château de Versailles et le Centre des Monuments Nationaux, et compte tenu des questionnements des professionnels du patrimoine pour la conservation préventive des œuvres, la thèse se focalisera sur l'étude sur deux matériaux bien distincts en termes de structure interne et d'interaction avec l'environnement et son évolution en lien avec la problématique du changement climatique : le bois et le marbre.

2. Méthodologie et travaux à réaliser

Le projet HydroMAP se propose de répondre aux besoins de la conservation préventive en se concentrant sur l'étude des mécanismes de formation d'un film d'eau à la surface des matériaux du patrimoine et la détection de présence du 1^{er} film d'eau. Plusieurs techniques complémentaires seront mises en œuvre dans la thèse, afin d'interroger les matériaux par une analyse multi-échelle 2D/3D et d'identifier des paramètres pertinents pour le suivi des mécanismes de formation du film d'eau.

L'holographie optique mise en œuvre dans ce projet est basée sur l'interférométrie holographique de speckle numérique (DHSPI) afin de mesurer les déformations mécaniques. Un faisceau laser de référence et un faisceau revenant de l'objet sont recombinaés et conduisent à un interférogramme spatialisé dont l'analyse permet de cartographier les déformations et donc de remonter au mouvement de la surface. Cette technique de mesure, développée par des collaborations entre le SATIE et le C2RMF (thèse Holosens, EquipEX+ ESPADON), a montré son efficacité sur le suivi de l'humidité relative (HR) du bois.

La vibrométrie laser ultrason 1D/3D est une technique instrumentale permettant d'imager le comportement vibratoire d'un matériau. Soumis à une sollicitation mécanique dynamique (avec une fréquence de vibration adaptée à l'échelle d'analyse pertinente), la réponse mécanique du matériau est liée à son élasticité / rigidité / porosité et d'autres caractéristiques intrinsèques à sa structuration. La détection par interférométrie laser de la propagation des ondes acoustiques autorise l'extraction de paramètres physiques qui évolue en fonction des conditions extérieures. Les signaux détectés permettent de cartographier les déplacements 3D de surface, et de remonter aux contraintes. Des travaux précédents ont permis de développer la méthode de l'ellipsométrie acoustique, avec l'apport de l'analyse des signaux dans l'espace des Quaternions. Cette caractérisation mécanique doit permettre de comprendre les conditions structurelles aboutissant au point de rosée.

La spectroscopie radiofréquence (RF) permet de mesurer la conductivité et la permittivité électrique des matériaux. Ces paramètres physiques sont particulièrement sensibles à l'humidité de surface, et en proche sub-surfacique, des structures analysées. La technique de mesure est basée sur l'interaction d'ondes électro-magnétiques avec le matériau. Un capteur, fonctionnant en émission – réception, émet un champ magnétique résonnant dont la fréquence est adaptée à l'échelle d'investigation souhaitée. Par la proximité de la surface analysée, la modification (fréquence, amplitude) du champ magnétique est détectée par le capteur, permettant d'extraire les paramètres diélectriques (conductivité et permittivité) du matériau qui dépendent très fortement de l'humidité relative contenue dans le volume. Cette technique de mesure doit permettre de détecter de manière précoce les premières conditions de formation du film d'eau en surface.

Ces trois techniques instrumentales complémentaires vont fournir les éléments nécessaires à la compréhension / détection des mécanismes mis en jeu dans la formation d'un film d'eau en surface.

Afin de répondre à ces objectifs scientifiques et techniques, et en vue de prévenir à terme la dégradation des objets patrimoniaux en définissant des conditions de conservation dans le contexte du changement climatique via l'adaptation éventuelle des conditions de conservation, **l'approche innovante de cette thèse se déroulera en plusieurs grandes phases :**

- **Phase 1 : Étude des deux matériaux – bois et marbre – en laboratoire pour comprendre** les conditions pouvant amener à la formation du film d'eau sur des échantillons : structure interne, porosité, rugosité de surface, contraintes mécaniques, seuil de température/humidité relative/émissivité, phénomène de condensation (en lien avec le suivi climatique des œuvres dans les institutions patrimoniales),
- **Phase 2 : Développement de la méthodologie instrumentale pour détecter les paramètres pertinents :** excitation/détection des ondes, approche multi-échelle 2D/3D, multimodalité d'analyses (mécanique par l'holographie, acoustique par la vibrométrie laser, diélectrique par la spectroscopie RF),
- **Phase 3 : Fusion et analyse des résultats issus des techniques** développées dans le projet, et comparaison/apport éventuel avec des techniques mises en œuvre par ailleurs au SATIE et C2RMF,
- **Phase 4 : Application de la méthode d'analyse in situ** pour éprouver la transportabilité des techniques et des systèmes embarqués (Château de Versailles, Châteaux d'Azay-le-Rideau ou d'Aulteribe).

3. Profil et compétences recherchés

Etudiant(e) titulaire d'un diplôme de master ou d'ingénieur, spécialisé en instrumentation ou en physique des matériaux, ayant un profil expérimental et des compétences en programmation pour les traitements des signaux / analyses d'images. Des connaissances en Sciences des matériaux et/ou en Sciences du patrimoine seraient appréciées. Le(la) candidat(e) devra être capable de travailler en relative autonomie dans un environnement collaboratif et de dialoguer avec des partenaires du projet.