

Offre de stage 2025-2026 : Master 2^{ème} Année

Le stage

Intitulé : Caractérisation de la biodétérioration d'un monument historique

Descriptif du sujet de stage (contexte, objectifs, méthodologie,...) :

Contexte scientifique

La France est particulièrement riche en monuments historiques en pierre. Malgré sa plus grande résistance aux agressions de toutes sortes par rapport à d'autres matériaux, la plupart des sites patrimoniaux en pierre sont aujourd'hui fortement affectés par les fluctuations environnementales, la pollution atmosphérique et le changement climatique (Esteban-Cantillo et al. 2024, Wang et al., 2025). Parmi les dangers auxquels sont confrontés ces monuments en pierre, il y a des phénomènes géologiques et des phénomènes microbiologiques regroupés sous le terme de phénomènes géomicrobiologiques. L'impact des phénomènes géomicrobiologiques évoluent avec l'évolution des facteurs environnementaux, notamment l'activité de l'eau. Un aspect clé des risques encourus par la pierre exposée aux éléments est sa colonisation microbienne sous forme de biofilm. Il s'agit d'un consortium multi-espèces capable de piloter les cycles biogéochimiques grâce à des nutriments provenant principalement de l'atmosphère et du substrat colonisé, d'interagir avec les matériaux pierreux pour répondre à leurs besoins en niches et, finalement, de provoquer la biodétérioration du patrimoine pierreux (Mugnai et al. 2024, Ranaldi et al. 2025). Selon la bioréceptivité de la pierre, une couverture de biofilm épilithique peut se former largement sur la pierre. Ces biofilms fréquemment photosynthétiques ont un impact esthétique de biocouverture et, selon les conditions de conservation du bâti, des effets de biodétérioration ou de bioprotection. Ainsi, les biofilms inactifs pourraient servir de revêtements biologiques pour protéger les matériaux pierreux du patrimoine des attaques abiotiques lorsque l'eau est biologiquement indisponible. Cependant, l'eau agit en dilatant et en contractant physiquement les biofilms en réponse aux cycles d'hydratation/dessiccation, et, en stimulant chimiquement les processus de dissolution et de précipitation des sels, ce qui induit des phénomènes de détérioration (Menendez and Petráňová 2016, Lepinay et al. 2018). Les traitements chimiques antibiofilm appliqués sur la pierre utilisent des biocides qui ont un impact écotoxicologique sur l'environnement et l'homme (Romani et al. 2022). L'évolution de la réglementation européenne sur l'usage des biocides et la nécessité d'approches one health conduit à un fort besoin de développement de traitements innovants à base de principes actifs naturels moins toxiques (Ranaldi et al. 2025).

Finalité et stratégie expérimentale

Le travail consistera en une étude de cas (église troglodyte Notre Dame de l'Annonciation sur la commune de Haute-Isle dans le Vexin). L'église entièrement excavée dans la craie présente un fort développement biologique qui recouvre une grande partie des murs et du plafond. Les zones de développement de biofilm semblent soumises à une forte humidité et à une importante luminosité.

Une partie du travail consistera à mettre en place un recueil de données climatiques dans la nef (relevés de température et d'hygrométrie), à cartographier le développement biologique et à le caractériser par colorimétrie. Des prélèvements de biofilm seront réalisés en différentes zones du biofilm présentant des aspects macroscopiques variés. Ces prélèvements seront analysés par microscopie au niveau de la plate-forme d'imagerie de l'Institut des matériaux de Cergy par microscopie confocale à balayage laser et microscopie électronique à balayage. Ils seront mis en culture sur différents milieux solides et liquides afin d'en caractériser la flore cultivable. Les microorganismes isolés seront identifiés par des approches phénotypiques et moléculaires.

Ce travail nécessitera la mise en œuvre de techniques variées : prélèvement d'échantillons en conditions aseptiques, culture d'espèces microbiennes (bactéries, moisissures, microalgues et cyanobactéries), identification microbienne (colorations, tests biochimiques, analyses morphologiques, extraction d'ADN, amplification PCR ciblée de séquences ITS, de séquences de gènes codant les ARN 16S et 18S, analyse bioinformatique), imagerie (microscopie confocale à balayage laser, microscope électronique à balayage), colorimétrie (spectrophotomètre portable).

- Esteban-Cantillo O.J., Menendez B., Quesada B. Climate change and air pollution impacts on cultural heritage building materials in Europe and Mexico, *Science of The Total Environment*, 2024, 921, 170945, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170945>.

- Wang L., Huang J., Sanmartín P., Di Martino P., Wu F., Urzi C.E., Gu J.D., Liu X. Water determines geomicrobiological impact on stone heritage, *Nature Geoscience*, 2025, 18, 108–111. <https://doi.org/10.1038/s41561-024-01631-x>.

- Mugnai G., Borruso L., Wu Y.L., Gallinaro M., Cappitelli F., Zerboni A., Federica Villa. Ecological strategies of bacterial communities in prehistoric stone wall paintings across weathering gradients: A case study from the Borana zone in southern Ethiopia. *Science of The Total Environment*. 2024. 907, 168026, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168026>.

- Ranaldi R., Gabriele F., Rugnini L., Di Martino P., Agniel R., Scuderi F., Braglia R., Canini A., Spreti N. Essential oils in hydrogel for microalgal biofilm removal: Application strategies for stone heritage preservation, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2025, 203, 106128, <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2025.106128>.

- Menéndez B., Petráňová V., Effect of mixed vs single brine composition on salt weathering in porous carbonate building stones for different environmental conditions, *Engineering Geology*, 2016, 210, 124-139, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2016.06.011>.

- Lepinay C., Mihajlovski A., Tournon S., Seyer D., Bousta F., Di Martino P. Bacterial diversity associated with saline efflorescences damaging the walls of a French decorated prehistoric cave registered as a World Cultural Heritage Site. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2018. 130: 55-64. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2018.03.016>.

- Romani M., Warscheid T., Nicole L., Marcon L., Di Martino P., Suzuki M.T., Lebaron P., Lami R. Current and future chemical treatments to fight biodeterioration of building materials and associated biofilms: moving away from ecotoxic and towards efficient, sustainable solutions. *Science of The Total Environment*. 2022. 802: 149846. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149846>.

- Ranaldi R., Gabriele F., Rugnini L., Di Martino P., Agniel R., Scuderi F., Braglia R., Canini A., Spreti N. Essential oils in hydrogel for microalgal biofilm removal: Application strategies for stone heritage preservation, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2025, 203, 106128, <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2025.106128>.

Présentation de la structure d'accueil

Nom : CY CERGY PARIS UNIVERSITÉ

Le sujet de Master 2 est en collaboration entre deux laboratoires situés dans le même bâtiment du site de Neuville-sur-Oise.

Laboratoire 1 : équipe de recherche sur les relations matrice extracellulaire-cellule (laboratoire ERRMECe) Groupe Biofilm et Comportement Microbien aux Interfaces (BCMI)

Site web : <https://www.cyu.fr/recherche-et-valorisation/structures-de-recherche/laboratoires/errmece-equipe-de-recherche-sur-les-relations-matrice-extracellulaire-cellule>

Et

Laboratoire 2 : L'Institut des Sciences de la Terre de Paris (ISTeP) UMR 7193 CNRS équipe PRISME (anciennement GEC) Cergy paris Université

Adresse : Maison Internationale de la Recherche (MIR) 1 RUE DESCARTES 95000 NEUVILLE-SUR-OISE

Site web : http://istep.upmc.fr/fr/les_equipes/prisme-2.html

Les deux structures d'accueil appartiennent à l'Institut des Matériaux (I-MAT) de Cergy Paris Université.

Contacts/ responsables du stagiaire

■ *Contact 1* : Patrick Di Martino Professeur des Universités Laboratoire ERRMECe

Téléphone : 01 34 25 66 06

Mail : patrick.di-martino@cyu.fr

■ *Contact 2* : Beatriz Menendez maître de Conférences HDR UMR 7193 CNRS équipe PRISME

Téléphone : 01 34 25 73 62

Mail : beatriz.menendez@cyu.fr

Candidature (CV et lettre de motivation) à envoyer à :

patrick.di-martino@cyu.fr et beatriz.menendez@cyu.fr