



## Offre de stages de Master 2

**Titre :** Développement et caractérisation d'un mortier intelligent pour le suivi des ouvrages en pierre du patrimoine

**Encadrants :**

Parent Thomas, [thomas.parent@u-bordeaux.fr](mailto:thomas.parent@u-bordeaux.fr), Bâtiment A11

Allam Hamza, [hamza.allam@u-bordeaux.fr](mailto:hamza.allam@u-bordeaux.fr), Bâtiment A11

**Mots clés :**

Patrimoine & innovation, maçonnerie ancienne, mortier intelligent, capteurs intégrés, suivi en temps réel, caractérisation expérimentale

**Contexte**

La préservation de notre patrimoine bâti constitue un enjeu majeur aujourd'hui, comme nous le rappelle les accidents tragiques survenus ces dernières années (incendie de la cathédrale Notre Dame de Paris [1], Bourse de Copenhague, etc...). Ce patrimoine ancien est principalement constitué du matériau de maçonnerie de pierres calcaires. Le diagnostic structurel de ce type d'ouvrage est rendu difficile du fait de leur géométrie 3D complexe, du caractère fortement anisotrope et non linéaire des matériaux constitutifs et de la difficulté d'identifier précisément l'historique de chargement qu'ont subi ses structures au cours des siècles. Des méthodologies de diagnostic globales allant du relevé sur site jusqu'à des modélisations mécaniques avancées sont à développer [2]. Ce type de méthodologie doit notamment comprendre un suivi SHM (structural Health Monitoring) de l'ouvrage afin d'en identifier le comportement mécanique actuel. Pour répondre à cet enjeu, il semble pertinent d'assurer un suivi continu, non-invasif et peu coûteux de ces structures du patrimoine. Une piste prometteuse pour assurer ce suivi est dans la mise en œuvre de mortier intelligent présentant des inclusions de fibres électriquement conductrices [3],[4],[5].

**Objectif du travail à mener et Déroulé du sujet (si pertinent)**

Ce stage propose le développement d'un nouvel outil de suivi de ce type de structures. L'idée est de modifier les joints de mortier liaisonnant les blocs de pierre, afin qu'il soit capable de suivre le niveau de contrainte de compression au sein de la structure en maçonnerie. Ce joint de mortier multifonctionnel doit être capable d'assurer son rôle conventionnel qui consiste à répartir les efforts de compression entre les blocs pour éviter tout poinçonnement et à assurer le rôle de fusible lors de la rupture en traction ou cisaillement de la maçonnerie tout en gardant une maniabilité acceptable, en plus de son atout capteur. Cet atout est développé grâce à l'inclusion de fibres conductrices électriquement, qui permettrait d'établir le lien entre les propriétés mécaniques et électriques du matériau. Une des premières étapes dans le développement de ce type de joint intelligent et de vérifier que :

- i. Ce type de matériaux présente les mêmes caractéristiques rhéologiques et mécaniques que les mortiers traditionnels de chaux NHL 3.5
- ii. Les assemblages pierre-mortiers-pierre présentent les mêmes caractéristiques mécaniques que les assemblages réalisés avec un mortier traditionnel
- iii. A l'échelle du matériau, ce type de mortier permet un suivi de l'état de contrainte de compression

**Programme du stage**

Le travail développé dans ce stage suivra une approche expérimentale qui vise à :

1. Mettre au point une formulation de ce matériau : optimiser le taux d'ajout des fibres

Un travail analytique et expérimental préalable sera mené afin d'estimer la proportion de fibre optimale permettant d'assurer un niveau de percolation suffisant pour assurer une bonne conductivité du matériau tout en préservant un niveau satisfaisant de maniabilité nécessaire pour la mise en œuvre du joint de mortier. Plusieurs taux d'ajout de fibres seront testés.

2. Évaluer la capacité du matériau à déterminer l'état de contrainte de compression et avec quel niveau d'incertitude

Des essais mécaniques de compression asservis seront réalisés sur des éprouvettes de mortier cylindrique (figure 1). Dans le domaine linéaire, des paliers de contraintes seront appliqués et des mesures de résistivité seront réalisées pour différentes fréquences ce qui permettra d'évaluer la corrélation entre résistivité et niveau de contrainte.



*Figure 1 dispositif expérimental mécanique envisagé pour la réalisation de l'essai de compression directe*

3. Évaluer la capacité du matériau à suivre le niveau d'endommagement subit et avec quel niveau d'incertitude

Les essais de compression seront menés jusqu'à rupture et dans leur comportement adoucissant grâce à un asservissement en ouverture de périmètre de l'éprouvette afin d'évaluer le comportement post-pic de ce mortier. Des cycles de charges décharge seront effectués dans le but de caractériser l'endommagement mécanique des échantillons et d'estimer s'il existe un lien entre endommagement mécanique et résistivité du matériau.

### Références bibliographiques

- [1] Praticò, Y., Ochsendorf, J., Holzer, S., Flatt, R.J., 2020. Post-fire restoration of historic buildings and implications for Notre-Dame de Paris. *Nat. Mater.* 19, 817–820. <https://doi.org/10.1038/s41563-020-0748-y>
- [2] Roca, P., Cervera, M., Gariup, G., Pela', L., 2010. Structural Analysis of Masonry Historical Constructions. Classical and Advanced Approaches. *Archives of Computational Methods in Engineering* 17, 299–325. <https://doi.org/10.1007/s11831-010-9046-1>
- [3] D'Alessandro, A., Triana Camacho, D.A., Meoni, A., Ubertini, F., 2024. Multifunctional sensing mortar for masonry structures: first development and characterization. *Procedia Structural Integrity, SMAR 2024 – 7th International Conference on Smart Monitoring, Assessment and Rehabilitation of Civil Structures* 64, 1160–1167. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.09.162>
- [4] Nalon, G.H., Ribeiro, J.C.L., Pedroti, L.G., da Silva, R.M., de Araújo, E.N.D., 2024. Behavior of self-sensing masonry structures exposed to high temperatures and rehydration. *Structures* 68, 107083. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.107083>
- [5] Drougkas, A., Sarhosis, V., Basheer, M., D'Alessandro, A., Ubertini, F., 2023. Design of a smart lime mortar with conductive micro and nano fillers for structural health monitoring.

**Date de début souhaitée :** 1/02/2026

**Date de fin :** 31/06/2026

### Contact pour candidater :

Parent Thomas, [thomas.parent@u-bordeaux.fr](mailto:thomas.parent@u-bordeaux.fr), Bâtiment A11

Allam Hamza, [hamza.allam@u-bordeaux.fr](mailto:hamza.allam@u-bordeaux.fr), Bâtiment A11