

Proposition de thèse de doctorat

TITRE DU SUJET DE THÈSE

Étude de l'impact des agents expansifs sur la durabilité des réparations d'ouvrages en béton armé

CONTEXTE

Les structures maritimes et côtières en béton armé sont soumises à des environnements agressifs qui induisent de nombreuses dégradations au sein de ces ouvrages, en particulier la corrosion des armatures en acier. Cette dernière va générer la fissuration et l'éclatement de leur revêtement en béton, ce qui affecte la fonctionnalité de ces ouvrages et conduit parfois à leur ruine partielle. La réparation de ces dégâts permettant d'assurer à l'ouvrage ses performances initiales et de prolonger sa durée de vie représente un coût non négligeable pour le maître d'ouvrage.

Ce projet de recherche vise à proposer une solution innovante pour leur réparation via le développement de matériaux s'autoréparant via l'utilisation de matrices à bas carbone valorisant des produits locaux et de sous-produits industriels en association avec des agents expansifs. L'approche permettra de réduire l'impact environnemental des structures réparées, mais aussi le coût des réparations en améliorant la durée de vie des matériaux. En effet, l'auto-cicatrisation s'inscrit dans une démarche préventive, permettant d'augmenter la durée de vie et de réduire les coûts d'entretien de la structure réparée.

DESCRIPTION DU SUJET DE THESE

Les travaux de recherche menés dans le cadre de cette thèse de doctorat visent donc à concevoir des éco-mortiers de réparation autocicatrisants pour remplacer les bétons défectueux ou contaminés protégeant les armatures métalliques. L'originalité du projet consiste à valoriser des produits locaux et des sous-produits/déchets industriels pour la conception de matériaux auto-réparants en optimisant leurs performances et leur durabilité. On se focalisera plus précisément sur les interactions entre les agents expansifs et leur matrice d'enrobage, leur rôle dans la durabilité de la réparation, en particulier à l'interface 'béton ancien-mortier de réparation', et leur potentiel pour cicatrifier les fissures qui pourraient apparaître au cours du vieillissement du matériau de réparation. Pour atteindre ces objectifs, la méthodologie scientifique adoptée dans le projet se base sur une campagne expérimentale multi-échelles couplée à une modélisation numérique comportant trois parties :

- *P1. Conception des mortiers de réparation à forte capacité de cicatrisation*
Pour cet objectif, deux processus seront optimisés : un processus endogène via le maintien de réactions d'hydratation sur le long terme et un processus autonome via l'ajout d'agents expansifs. Plusieurs points fondamentaux doivent être analysés pour assurer la viabilité et la pérennité de la solution : (1) les interactions entre les agents expansifs et les additions minérales (laitier de haut-fourneau, métakaolin, cendres volantes), en particulier l'impact du pH et de la solution interstitielle ; (2) l'impact de la structure porale et de l'état de contraintes internes sur la croissance des produits expansifs et l'expansion macroscopique de leur matrice d'enrobage. Pour répondre à ces points, plusieurs moyens expérimentaux originaux seront mis en œuvre, tels que

des analyses d'évolution et de quantification de phases via des mesures DRX et des essais mécaniques sous MEB.

- *P2. Optimisation de la capacité de réparation des mortiers*

Ces travaux se focaliseront sur la compatibilité déformationnelle et des propriétés de transfert entre la réparation et son support, ainsi que l'impact de la présence de fissures cicatrisées sur les performances du matériau. A cette fin, il est prévu de coupler les approches expérimentales et numériques. Pour la compatibilité déformationnelle, les paramètres affectant le risque de fissuration (fluages, retraits, etc.) seront étudiés expérimentalement de manière individuelle et couplés via une modélisation numérique. Pour la compatibilité des propriétés de transfert, un modèle numérique sera développé en se basant sur un modèle de transport réactif utilisant des équations d'équilibre macroscopiques et des lois de cinétique de cicatrisation calibrées à partir des données expérimentales du projet. Ce modèle permettrait de prédire la capacité cicatrisante des mortiers et d'évaluer l'impact des fissures cicatrisées sur les propriétés de transfert via la prédiction du transport d'espèces chimiques et de la croissance des produits de cicatrisation.

- *P3. Évaluation de la durabilité de la réparation*

Après réparation, les structures sont toujours exposées aux conditions environnementales ayant endommagé la structure. Il est indispensable de s'assurer que le matériau de réparation choisi et sa mise en œuvre sont adaptés et ne favorisent pas le développement de pathologies. A cette fin, la résistance à la pénétration des chlorures sera étudiée pour les compositions les plus performantes et un intérêt tout particulier sera porté aux interactions entre les chlorures et les agents expansifs/les produits de cicatrisation/l'interface 'mortier de réparation-support'.

Ce projet s'inscrit dans le cadre du projet ANR SHREM (Self-Healing Repair Eco-Mortar) portant plus largement sur les éco-mortiers de réparation auto-cicatrisants, ANR portée par l'INSA Rennes.

PROFIL REQUIS

Le candidat doit être titulaire d'un Master 2, d'un diplôme ingénieur ou d'un diplôme équivalent dans des domaines en lien avec le présent sujet, c'est-à-dire le génie civil, les sciences des matériaux, etc.

Des connaissances sont attendues dans le domaine des matériaux de construction, en particulier sur les liants hydrauliques. La connaissance de méthodes de caractérisation expérimentales des matériaux serait un plus, ainsi que des compétences en modélisation numérique. De plus, des compétences en anglais (lu, écrit et parlé) sont requises. Le candidat doit être motivé par le sujet, curieux, rigoureux et doit faire preuve d'autonomie et d'initiative.

LIEU

La thèse se déroulera au Laboratoire de Génie Civil et Génie mécanique (LGCGM : <https://lgcgm.fr>) à l'Institut National des Sciences Appliquées de Rennes (INSA Rennes : <https://www.insa-rennes.fr>).

DEBUT DE THESE :

Septembre ou Octobre 2023

ENCADREMENT DE LA THESE

Aveline Darquennes, Professeure des Universités : aveline.darquennes@insa-rennes.fr

Mohamed Khaled Bourbatache, Maître de Conférences : Mohamed-Khaled.Bourbatache@insa-rennes.fr

Kinda Hannawi, Maître de Conférences : kinda.hannawi@insa-rennes.fr

DATE LIMITE DE CANDIDATURE

15 juin 2023

MODALITES DE CANDIDATURE

Envoyer votre dossier de candidature à A. Darquennes, M.K. Bourbatache et K. Hannawi par mail.

Le dossier de candidature doit contenir les pièces suivantes :

- un curriculum vitae avec les résultats académiques ;
- une lettre de motivation ;
- une ou deux lettres de recommandation ;
- un relevé de notes de 1ère et 2ème années Master (ou équivalent) ;
- une attestation de réussite du master 2 (ou équivalent) ou la copie du diplôme (le cas échéant).