

## PROPOSITION DE SUJET POUR UN CONTRAT DOCTORAL

<p><b>Laboratoire</b> LaSIE</p>
<p><b>Titre de la thèse</b> Interaction entre les évolutions microstructurales et les phénomènes de transfert dans les matériaux cimentaires : Étude numérique et expérimentale.</p>
<p><b>Direction de la thèse</b> directeur-trice-s (grade, HDR) et éventuels co-directeur-trice-s Ameur HAMAMI (MCF, HDR) Alexandre GODIN (IR, HDR)</p>
<p><b>Adéquation scientifique avec les priorités de l'établissement</b> <i>Cette proposition de sujet de recherche concerne les structures et infrastructures situées en zone littorale et maritime. Les collectivités territoriales (CDA et Département 17) sont propriétaires de plusieurs structures, bâtiments et ouvrages attaqués et mis en danger quotidiennement par l'environnement marin humide et salin. Cette étude pourra contribuer à mieux comprendre et appréhender le comportement des matériaux entrant dans la construction de ces structures à toutes les échelles et ainsi proposer des scénarios de maintenance et de réparation avec des matériaux durables, résilient et respectueux de l'environnement. Ceci s'inscrit dans le cadre des contextes réglementaires actuels, notamment celui de la RE2020 stipulant la minimisation des impacts des matériaux de construction utilisés sur l'environnement tant lors des constructions neuves qu'au cours des rénovations de l'existant.</i></p>
<p><b>Descriptif du sujet</b> (enjeux scientifiques, applicatifs, sociétaux...) <i>Le béton est de nos jours le premier matériau de construction utilisé à travers le monde. Son utilisation, bien que contestée à cause des émissions de CO<sub>2</sub> générées par l'industrie du ciment et du béton, reste irremplaçable au vu des propriétés qu'il possède. La technologie du béton n'a cessé de se développer pendant les dernières années pour toujours proposer des matériaux plus fiables, plus durables, moins énergivores et moins polluants. L'efficacité d'un tel matériau passe par la maîtrise de ses différentes propriétés, aussi bien mécaniques, morphologiques que ses propriétés de durabilité. Ces dernières ont fait l'objet de vastes études menées par la communauté scientifique à travers le monde. Par ailleurs, les modèles de prédiction du comportement des matériaux constituent des outils incontournables que l'on se doit de compléter et d'améliorer car les matériaux cimentaires changent avec l'ajout de nouvelles additions minérales issues de sous-produits industriels entre autres. En effet, ces modèles permettent de se projeter sur plusieurs années de vie du matériau, d'en déterminer sa résistance aux agressions environnementales, donc de prévoir d'éventuels dégradations qu'il pourrait subir.</i> <i>Plusieurs modèles ont été développés au sein du LaSIE pour la prédiction des propriétés de transferts des matériaux cimentaires, en particulier pour la diffusion des ions chlorures. Ces modèles se basent, dans la majorité des cas, sur des données obtenues expérimentalement pour alimenter les simulations numériques en données d'entrée. Cependant, une question majeure reste à éclaircir et correspond à la prise en compte des évolutions microstructurales accompagnant les transferts. En effet, la plupart des modèles de transfert caractérisant les matériaux cimentaires considèrent une porosité constante pendant les transferts alors que plusieurs études expérimentales ont démontré que celle-ci évolue significativement.</i> <i>Le but de ce sujet de thèse est d'investiguer finement la formation de la microstructure en fonction de la composition du matériau cimentaire ainsi que son évolution lorsque le matériau est assujéti à des mécanismes liés aux interactions du matériau avec son environnement (transferts hydriques et ioniques). Le travail dans le cadre de cette thèse consistera, dans un premier temps, à caractériser expérimentalement l'évolution de la microstructure de différents matériaux cimentaires avec un large panel de compositions (différents ciments, additions minérales : cendres, poudres de verre, etc.). Cette caractérisation se basera sur l'estimation de propriétés de transferts telles que diffusivité hydrique, ionique et thermique, des propriétés microstructurales (porosité et distribution de la taille des pores). L'imagerie au MEB-Fib dans le but d'une reconstruction de la microstructure en 3D est également une contribution originale qui sera abordée dans le cadre de cette thèse. Dans un second temps, une modélisation permettant de simuler les mécanismes</i></p>

de transferts couplés au sein de la microstructure sera menée en se basant sur les images acquises précédemment. Par ailleurs, cette étude numérique consistera à reconstruire numériquement la microstructure en se basant sur les propriétés de chaque matériau entrant dans la composition du matériau cimentaire. Le but est de valider cette reconstruction afin de permettre des simulations futures sans recours obligatoire à l'imagerie expérimentale.

La finalité de ce travail est de proposer un modèle fiable décrivant la microstructure des matériaux cimentaire et son évolution au cours des transferts. Ce dernier, couplé aux modèles de transfert permettra une estimation plus rigoureuse des propriétés liées à la durabilité de ces matériaux

Mots clés : Matériaux cimentaires, éco-matériaux, évolutions microstructurales, porosité, durabilité, valorisation de déchets solides, propriétés de transfert, vieillissement

Profil recherché :

La/le candidat.e devra justifier d'un niveau de bac+5 dans le domaine des Sciences de Matériaux ou du Génie Civil avec une forte compétence en modélisation et utilisation des outils de calcul numérique.

**Contexte partenarial** (cotutelle internationale, EU-CONEXUS, partenariat avec un autre laboratoire, une entreprise...)

Un partenariat existe déjà avec le cimentier Holcim – La Rochelle dans le cadre du projet national Perfdub. Holcim a déjà manifesté son intérêt pour le sujet. Il serait partant pour nous accompagner pendant ce projet notamment par l'approvisionnement en différents matériaux de base entrant dans la constitution des ciments et des matériaux cimentaires. Le sujet étant à orientation exploratoire et fondamentale, Holcim n'est pas intéressé pour cofinancer cette thématique.

**Impacts** (scientifiques, technologiques, socio-économiques, environnementaux, sociétaux...)

L'apport majeur de ce travail serait de permettre une meilleure compréhension des évolutions microstructurales qui accompagnent les transferts hydriques et ioniques dans les matériaux cimentaires. Cette notion restant jusqu'à présent très peu abordée et non prise en compte dans les modèles de transfert ionique et hydriques. Cette thèse devrait, tant sur le plan expérimental que numérique, permettre une meilleure intégration de l'évolution de la microstructure et de la porosité des matériaux dans les modèles de prédiction de leurs propriétés de transfert et donc leur durabilité.

**Programme de travail du doctorant** (tâches confiées au doctorant)

- Étude bibliographique détaillée sur les matériaux cimentaires, leurs composants, la formation de leur microstructure, les réactions chimiques accompagnant les transferts hydriques et ioniques ainsi que les modifications résultant de ces derniers.
- Mise en place d'un programme expérimental (fabrication de matériaux, conservation, essais de caractérisation : mécanique, microstructurale, en termes d'indicateurs de durabilité, caractérisation des propriétés de transferts ioniques et hydrique, imagerie).
- Modélisation de la microstructure et des transferts hydriques et ioniques en s'appuyant sur des logiciels de modélisation numérique et d'imagerie déjà disponibles au sein du laboratoire.
- Validation expérimentale des modèles étudiés.

**Calendrier de réalisation**

- 1ère année :
  - Etude bibliographique, étude préliminaire pour la formulation et le choix des matériaux, fabrication des premiers matériaux, premiers essais de caractérisation, conditionnement des matériaux selon des protocoles de conservation en laboratoire.
  - Etude bibliographie sur le traitement et la reconstitution d'images, prise en main des outils numériques traitement d'images et de simulation numérique.
- 2ème année : fabrication des matériaux (2<sup>ème</sup> tranche), compléments aux caractérisations, mesures des propriétés de transferts et microstructurales ; choix des modèles numériques à étudier et identification des paramètres d'entrée à caractériser. Cette deuxième étape se fera en parallèle à la campagne expérimentale
- 3<sup>ème</sup> année : Finalisation des campagnes expérimentales et numériques, valorisation des travaux et rédaction de la thèse

**Accompagnement du doctorant / Fonctionnement de la thèse** (accompagnement humain, matériel, financier, en

*particulier pour la prise en charge du fonctionnement de la thèse et des dépenses associées)*

*Le/la doctorant.e bénéficiera d'un support humain via l'expérience de ses encadrants et des partenaires précédemment cités ainsi que du soutien des équipes techniques du laboratoire.*

*D'un point de vue matériel, il/elle bénéficiera des équipements relatifs à la caractérisation de la microstructure (porosimétrie, isothermes, microscopie etc.), de la durabilité et des transferts ioniques et de masse. Il/elle pourra aussi compter sur des logiciels acquis (Comsol, Avizo, python/matlab, ...) pour réaliser tous travaux numériques nécessaires au bon déroulement de la thèse.*

*Le/la doctorant.e bénéficiera aussi d'un support financier des projets en cours portés par les encadrants ainsi que le soutien éventuel de l'équipe TDVM pour la participation à des congrès.*