

Sujet de Thèse
**Les Macro-Algues comme ressource pour le développement de produits
alternatifs dans le domaine du Génie Civil**
Macro-Algae as a source for Alternative Civil Engineering Products

Période : 15/09/2026 – 15/09/2029

Spécialités de la thèse : Matériaux, Géochimie, Génie civil

Lieu : ENS Paris-Saclay, 4 avenue des sciences 91190 Gif sur Yvette

Laboratoire : Laboratoire de Mécanique Paris-Saclay (LMPS)

École doctorale : Sciences Mécaniques, Energétiques et MATériaux pour l'inGénierie (SMEMAG)

Financement : ADEME – DIM MaTerRE

Encadrant : Alexandra Bourdot - alexandra.bourdot@ens-paris-saclay.fr

Directeur de thèse : Farid Benboudjema - farid.benboudjema@ens-paris-saclay.fr

Date limite de candidature : avant le 01/04/2026

Présentation du projet doctoral

Pour lutter contre le changement climatique, la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) donne les orientations pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et ainsi atteindre la neutralité carbone en 2050. Dans le secteur de la construction, l'atteinte de la neutralité carbone ne sera possible qu'en réduisant la production de clinker par substitution par de nouveaux liants, et par la capture d'émissions résiduelles. Le processus de biominéralisation combiné au recyclage de déchets industriels minéraux, dits « alcalins », permet d'accomplir ces deux tâches simultanément. Ces nouveaux matériaux alternatifs biosourcés produits par la start-up Bloomineral sont en effet capteurs de CO₂ et le stockent durablement, transformant les matériaux de construction en puits de carbone. Le processus est circulaire, valorisant des déchets impactant les milieux environnementaux tout en réduisant l'emploi de matières premières. Le projet doctoral vise à étudier les propriétés de ces nouveaux matériaux en tant qu'addition minérale du ciment.

Le projet a ainsi pour objectif le développement d'un matériau cimentaire de type liant à bas carbone permettant le remplacement de clinker et des additions minérales calcaires dont les ressources primaires nécessaires s'amenuisent et la production génère du CO₂. Le projet permettra ainsi de produire un liant contenant des biominéraux, issus des macro-algues capables de capter le CO₂. L'étude (i) de la distribution spatiale des différents composants organiques et minéraux des écomatériaux synthétisés et des leurs interactions physico-chimiques entre les différents composants organiques et minéraux des écomatériaux synthétisés et (ii) de l'impact sur l'hydratation des liants cimentaires, sera une étape clé pour expliquer les mécanismes impliqués et ainsi optimiser les formulations des liants pour des applications innovantes.

Méthodologie

La première étape sera axée sur la production de biominéraux et leur caractérisation par le(a) doctorant(e). Les techniques utilisées comprendront des systèmes de culture dans les installations de

Bloomineral hébergées au LSCE et une caractérisation géochimique et physicochimique. L'empreinte carbone et l'impact environnemental des biominéraux produits seront évalués dans le but de vérifier la réduction significative potentielle pour atteindre la neutralité carbone des liants.

L'utilisation de macro-algues comme fillers pour produire des liants cimentaires bas carbone sera développée au cours de la première année de thèse au LMPS et permettra d'étudier des matériaux cimentaires contenant différentes proportions de biominéraux. Les matériaux seront caractérisés d'un point de vue mécanique au moyen de presse électromécanique équipée de capteurs LVDT et de caméras pour évaluer les performances, propriétés et comportements mécaniques. Afin de comprendre ces performances à court, moyen et long terme, et d'évaluer la maniabilité du matériau final, des tests rhéologiques seront effectués, ainsi qu'une étude de la cinétique d'hydratation à l'aide d'un calorimètre isotherme au cours de la deuxième année.

La dernière partie du projet de doctorat sera consacrée à la caractérisation, à l'échelle microscopique, des distributions spatiales relatives et des associations des composés organiques et inorganiques, de leur chimie (cristalline) et de leur texture, en étudiant les produits formés à l'aide de l'imagerie spectrale infrarouge (nouvelle plateforme multi-échelle MUSIICS de l'Université Paris-Saclay), de la photoluminescence et des analyses Raman, associées à des observations par microscopie électronique. Cette étape, menée avec les laboratoires PPSM et IMPMC, permettra d'obtenir des corrélations entre nécessaires pour l'optimisation du liant cimentaire au LMPS.

Conditions scientifiques matérielles (conditions de sécurité spécifiques) et financières du projet de recherches

Le laboratoire de Mécanique Paris-Saclay (LMPS) est une Unité Mixte de Recherche : UMR 9026 ayant pour tutelles CentraleSupélec, l'ENS Paris-Saclay et le CNRS. Le LMPS est composé d'une équipe de direction, de quatre équipes de recherche et trois centres de ressources en appui à la recherche. La thèse s'effectuera dans l'équipe OMEIR qui a pour objectif de contribuer à la transition énergétique, écologique et numérique de l'ensemble du secteur touchant à la ville et aux infrastructures.

Le projet de thèse sera réalisé dans le laboratoire d'accueil LMPS de l'ENS Paris-Saclay en collaboration avec la start-up Bloomineral, et deux laboratoires de recherche de la région Ile de France : PPSM de l'ENS Paris-Saclay et l'IMPMC de Sorbonne Université. Cette collaboration permettra d'apporter toutes les compétences et connaissances nécessaires pour accompagner le(a) doctorant(e) dans les différentes étapes du projet de thèse. Chacun des laboratoires disposera des équipements associés à l'étude des matériaux.

Les laboratoires académiques sont en zone à régime restreint.

Collaborations

Laboratoire PPSM de l'ENS Paris-Saclay, contact: Loïc Bertrand

Laboratoire IMPMC de Sorbonne Université, contact: Karim Benzerara

Start-up Bloomineral, contact: Caroline Thaler

Mots clés

Macro-algues; Biominéralisation; Carbonates; Matériaux cimentaires; Bas carbone

Profil et compétences recherchées

Les compétences demandées pour cette thèse sont :

- Un solide bagage en caractérisation des matériaux

- Une expérience dans le domaine du Génie Civil ou en Géochimie
- Des aptitudes et un sens du travail expérimental
- Bonnes capacités d'expression orale et écrite en anglais

Niveau de français requis: Intermédiaire supérieur: Vous pouvez utiliser la langue de manière efficace et vous exprimer précisément.

Niveau d'anglais requis: Intermédiaire supérieur: Vous pouvez utiliser la langue de manière efficace et vous exprimer précisément.

Candidature et Personnes à contacter :

Alexandra Bourdot (LMPS, ENS Paris-Saclay) : alexandra.bourdot@ens-paris-saclay.fr

Farid Benboudjema (LMPS, ENS Paris-Saclay) farid.benboudjema@ens-paris-saclay.fr

Envoyer par e-mail un dossier de candidature comprenant :

- CV
- lettre de motivation
- relevé de notes et classements en Master (ou équivalent)
- lettres de recommandation
- coordonnées des personnes du milieu professionnel (minimum deux) à contacter

Références bibliographiques

- [1] Ministère de la Transition écologique, Projet de stratégie nationale bas-carbone n°3, Stratégie française énergie climat. (2025).
- [2] D.N. Beatty, W. V. Srubar, Nucleation effects of coccoliths in portland cement, Matter. 8 (2025) 102100. <https://doi.org/10.1016/j.matt.2025.102100>.
- [3] FAO, Seaweeds and microalgae: an overview for unlocking their potential in global aquaculture development, 2021.
- [4] V. Achal et al., Biomineralization for sustainable construction – A review of processes and applications, Earth-Science Rev. 148 (2015) 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.05.008>.
- [5] S. Al-Mardeai et al., Optimization of microalgal CaCO₃ production with aim to produce biocement, Chem. Eng. Res. Des. 208 (2024) 515–525. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2024.07.020>.
- [6] Y.W. Cheng et al., Unravelling CO₂ capture performance of microalgae cultivation and other technologies via comparative carbon balance analysis, J. Environ. Chem. Eng. 9 (2021) 106519. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106519>.
- [7] C. Bueno et al., Life Cycle Assessment Applied to End-of-Life Scenarios of Sargassum spp. for Application in Civil Construction, Sustainability. 15 (2023) 6254. <https://doi.org/10.3390/su15076254>.
- [8] E.A. Mellado-Lira et al., Brown algae: Sargassum sp. and Lobophora sp. incorporation in magnesium oxychloride cement, Sustain. Chem. Pharm. 44 (2025) 101969. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2025.101969>.
- [9] J. Hwalla, S. et al., Properties and microstructure of concrete masonry blocks incorporating chrysotila carterae microalgal biomass, J. Build. Eng. 111 (2025) 113585. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.113585>.
- [10] N. Dowdy, W. Srubar, Biomineralization in cement and concrete research, RILEM Tech. Lett. 8 (2024) 113–124. <https://doi.org/10.21809/rilemtechlett.2023.187>.