

**PROPOSITION DE SUJET POUR UN CONTRAT DOCTORAL/
Clôture des candidatures le :**

<p><u>Laboratoire</u></p> <p>LaSIE UMR 7356 CNRS La Rochelle Université</p>
<p><u>Titre de la thèse</u></p> <p>Analyse de la synergie entre matériaux recyclés et biosourcés pour les systèmes isolants des enveloppes de bâtiments : Approche expérimentale et modélisation numérique</p>
<p><u>Direction de la thèse</u> <i>directeur-trice-s (grade, HDR) et éventuels co-directeur-trice-s</i></p> <p>Akli Younsi, Maître de Conférences, Directeur Rafik Belarbi, Professeur des Universités, Co-Directeur</p>
<p><u>Adéquation scientifique avec les priorités de l'établissement</u></p> <p>L'étude s'inscrit pleinement dans les priorités du projet <i>La Rochelle Territoire Zéro Carbone (LRTZC)</i>, porté par un consortium regroupant la <i>Communauté d'Agglomération de La Rochelle</i>, la <i>Ville de La Rochelle</i>, la <i>La Rochelle Université</i> et plus de 130 partenaires. Elle vise à développer des matériaux de construction isolants à partir d'éléments recyclés, en réponse à une empreinte carbone trop élevée et à des émissions dépassant la capacité de régénération de la planète.</p> <p>En intégrant des matériaux à faible impact environnemental dans l'enveloppe des bâtiments, l'étude contribue à l'objectif de réduction de 30 % des émissions de CO₂ d'ici 2030, dans la perspective d'atteindre la neutralité carbone en 2040, l'une des ambitions majeures du projet <i>LRTZC</i>. Elle favorise la transition vers des pratiques durables et renforce l'économie circulaire, tout en proposant des solutions capables de capturer le carbone dans les bâtiments, augmentant ainsi les puits de carbone.</p> <p>Par ailleurs, l'étude participe à la sensibilisation des acteurs de la construction aux avantages des matériaux recyclés pour l'efficacité énergétique. En s'inscrivant dans une initiative reconnue d'intérêt national, elle offre également l'opportunité de tester des solutions innovantes et de générer des perspectives transférables à d'autres territoires, constituant un pas concret vers des changements durables face aux défis environnementaux actuels.</p>
<p><u>Descriptif du sujet</u> <i>(enjeux scientifiques, applicatifs, sociétaux...)</i></p> <p>Depuis les années 1970, la réglementation française sur la performance énergétique des bâtiments a évolué de manière significative, traduisant une volonté progressive de maîtrise des consommations énergétiques et de réduction de l'impact environnemental du secteur. Entre 1974 et 2005, les exigences relatives aux besoins en chauffage ont été considérablement renforcées, entraînant une diminution notable des niveaux de consommation autorisés, passés de 225 à 90 kWh/(m²·an). Cette évolution a conduit à l'instauration de plusieurs labels de performance énergétique, parmi lesquels le <i>Bâtiment Basse Consommation (BBC)</i> se distingue par son niveau d'exigence élevé, fixant pour les constructions neuves une consommation maximale de 50 kWh/(m²·an). La <i>Réglementation Thermique 2012 (RT 2012)</i> a ensuite consolidé ces objectifs, visant une économie globale estimée à 150 milliards de kWh et une réduction des émissions de CO₂ comprise entre 13 et 35 millions de tonnes, notamment par l'imposition de critères stricts concernant l'isolation thermique, l'étanchéité à l'air et la performance de l'enveloppe. Plus récemment, la <i>Réglementation Environnementale 2020 (RE 2020)</i> a prolongé cette trajectoire en intégrant explicitement la dimension environnementale, <i>via</i> l'analyse du cycle de vie et la limitation de l'empreinte carbone, tout en encourageant le développement de bâtiments à énergie positive, capables de produire plus d'énergie qu'ils n'en consomment sur l'ensemble de leur cycle d'exploitation.</p>

Dans ce contexte exigeant, la recherche s'est intensifiée sur le développement de solutions isolantes à haute performance hygrothermique, tout en minimisant leur impact environnemental. Les composites biosourcés, notamment ceux à base de chènevotte et de chaux, ont suscité un intérêt croissant en raison de leurs propriétés isolantes et de leur contribution potentielle à la réduction des émissions de CO₂. Cependant, l'utilisation accrue de ces ressources pose la question de la mobilisation des terres agricoles, notamment pour la culture du chanvre, dans un contexte de pression croissante sur les ressources naturelles. Cela justifie l'exploration de solutions alternatives ou complémentaires reposant sur la valorisation de déchets recyclés.

Dans ce cadre, deux études récentes menées au LaSIE ont évalué le potentiel de nouvelles solutions isolantes à faible impact environnemental. La première a porté sur un composite associant chènevotte et copeaux de carton recyclé dans une matrice de chaux, afin d'exploiter les synergies entre biosourcé et recyclé. La seconde a étudié l'utilisation exclusive de copeaux de carton recyclé intégrés dans une matrice de chaux, considérée comme une solution autonome. Ces approches présentent l'avantage de limiter la pression sur les terres agricoles destinées à la production alimentaire, tout en valorisant des déchets existants. Les résultats préliminaires montrent des performances thermo-hygro-mécaniques prometteuses, suggérant une faisabilité pour l'intégration de ces solutions dans l'enveloppe des bâtiments. Les copeaux de carton recyclé apparaissent comme un matériau pertinent, en association avec la chènevotte ou de manière autonome, contribuant à la fois à la performance énergétique et à la promotion de pratiques écoresponsables. Néanmoins, comme pour tout matériau innovant, des investigations approfondies restent nécessaires pour garantir la conformité aux normes et assurer la durabilité des performances.

La thèse proposée s'inscrit dans la continuité de ces travaux et vise à approfondir l'étude des interactions entre matériaux biosourcés (par exemple la chènevotte), matériaux recyclés (tels que les copeaux de carton recyclé) et matrices de liants minéraux (comme la chaux), tout en examinant le comportement des composants recyclés considérés séparément. Cette approche permettra d'optimiser les formulations, d'améliorer les performances hygrothermiques et mécaniques, et d'anticiper les verrous scientifiques et techniques liés à leur mise en œuvre. Les propriétés étudiées incluront notamment : la masse volumique, la porosité, la conductivité thermique, la chaleur spécifique, la perméabilité à la vapeur d'eau, la capacité de régulation hygrique, les isothermes de sorption-désorption et la résistance à la compression. Les investigations seront menées à différentes échelles, depuis l'analyse microscopique de la microstructure jusqu'à l'étude de parois complètes. Un protocole de vieillissement sera intégré afin d'évaluer la durabilité des performances à long terme. Par ailleurs, des modélisations numériques permettront d'étudier l'impact de ces matériaux sur la performance énergétique et le confort hygrothermique des bâtiments.

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

Cette étude ne s'inscrit pas dans un cadre partenarial.

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

L'étude présentée s'inscrit dans les orientations stratégiques en matière de développement durable, en visant la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la préservation des ressources naturelles et la limitation des impacts environnementaux du secteur du bâtiment. Elle repose sur la valorisation de matériaux recyclés pour le développement de solutions isolantes innovantes, en complément des matériaux conventionnels. Cette approche contribue à la transition vers des modes constructifs plus durables, caractérisés par un bilan carbone maîtrisé et une amélioration des performances environnementales des bâtiments.

Sur le plan scientifique, cette recherche a vocation à enrichir les connaissances existantes par la production de données nouvelles, susceptibles de soutenir le développement et, à terme, la mise sur le marché de nouveaux matériaux isolants à faible impact environnemental. L'étude s'appuie sur une méthodologie combinant des caractérisations expérimentales des propriétés thermo-hygro-mécaniques et des outils de modélisation numérique. Cette approche intégrée permettra d'analyser finement les interactions entre les différents constituants, d'évaluer les performances des matériaux dans des conditions représentatives d'usage et de prédire leur comportement à long terme en matière d'isolation thermique et de régulation hygrique.

Le développement de matériaux de construction durables constitue un axe structurant des activités de recherche de l'équipe BVD du LaSIE. En renforçant l'expertise scientifique et technique de *La Rochelle Université* dans ce domaine, cette étude s'inscrit dans une dynamique institutionnelle visant à promouvoir des pratiques de construction responsables, en adéquation avec les exigences réglementaires et sociétales actuelles en matière de durabilité, d'efficacité énergétique et d'économie circulaire. Elle participe également à la sensibilisation des acteurs du secteur du bâtiment à l'intérêt des matériaux recyclés, contribuant ainsi à la diffusion de solutions constructives à faible empreinte carbone.

Programme de travail du doctorant (tâches confiées au doctorant)

Tâche A – Étude bibliographique : Cette tâche consistera en une analyse approfondie de l'état de l'art portant sur les enjeux et le contexte de la construction durable, les matériaux isolants écologiques, ainsi que les interactions entre matériaux biosourcés et autres matériaux, en mettant en évidence les synergies et les propriétés associées. Elle intégrera également l'étude du cadre réglementaire, incluant les normes de performance et les politiques publiques en vigueur, ainsi qu'une revue des approches expérimentales et numériques existantes (méthodologies et outils de modélisation). Cette analyse permettra d'identifier les verrous scientifiques actuels et de dégager les perspectives de recherche.

Tâche B – Étude expérimentale : Cette tâche portera sur la réalisation d'essais expérimentaux visant à évaluer l'impact de l'incorporation d'éléments recyclés dans des matériaux à matrice minérale. Elle comprendra la confection d'échantillons destinés à la caractérisation des propriétés physiques, hygrothermiques et mécaniques, notamment : la masse volumique, la porosité, la conductivité thermique, la chaleur spécifique, la perméabilité à la vapeur d'eau, la capacité de régulation hygrique, les isothermes de sorption-désorption et la résistance à la compression. Les mesures seront réalisées à différentes échelles, depuis l'échantillon élémentaire jusqu'à l'échelle d'une paroi. Des analyses de la microstructure par microscopie électronique à balayage (MEB) seront menées, ainsi que des essais de vieillissement afin d'évaluer le comportement et la durabilité des matériaux à long terme.

Tâche C – Étude numérique : Cette tâche consistera en la mise en œuvre de modélisations numériques destinées à évaluer l'efficacité des matériaux développés en termes de performance énergétique et de confort hygrothermique. Les matériaux intégrant des éléments recyclés seront implémentés dans des systèmes isolants afin de confronter les résultats numériques aux données expérimentales obtenues et d'optimiser les formulations et les performances globales des matériaux.

Tâche D – Valorisation scientifique : Les résultats issus des études expérimentales et numériques feront l'objet d'une valorisation scientifique à travers des communications et des publications dans des revues et conférences nationales et internationales. Cette démarche visera à diffuser les connaissances produites auprès de la communauté scientifique et des acteurs du secteur de la construction durable.

Tâche E – Rédaction du mémoire et soutenance : Cette tâche sera consacrée à la rédaction du mémoire de thèse, à la synthèse des résultats obtenus et à la préparation de la soutenance, incluant la mise en perspective des travaux réalisés et des perspectives de recherche associées.

Calendrier de réalisation

	1 ^{ère} année		2 ^{ème} année		3 ^{ème} année	
	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Tâche A						
Tâche B						
Tâche C						
Tâche D						
Tâche E						

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)

L'encadrement scientifique sera assuré par un directeur de thèse et un co-directeur, avec l'appui d'une ingénieure d'études, assurant un suivi méthodologique et technique tout au long du projet.

La personne recrutée pour la thèse disposera d'un ordinateur portable dédié ainsi que de l'ensemble des équipements et matériaux nécessaires à la réalisation des travaux expérimentaux et numériques.

Le fonctionnement de la thèse sera financé par des fonds issus de projets portés par les membres de l'équipe BVD, complétés par le soutien du LaSIE pour la prise en charge des frais liés aux congrès et manifestations scientifiques, permettant la valorisation et la diffusion des résultats.