

Titre de la thèse

Analyse microstructurale des empilements granulaires biosourcés pour une modélisation multiphysique consolidée

Niveau recommandé

Master recherche (M2) ou équivalent

Compétences requises

Discipline principale : Génie-civil

Autres disciplines abordées : Science des matériaux, Traitement d'images, Acoustique, Mécanique, Hygrothermique

Description

Les matériaux de construction biosourcés présentent de multiples atouts, comme leur disponibilité à l'échelle locale et leurs **performances fonctionnelles sur les plans mécanique, acoustique et hygrothermique**. La nouvelle Règlementation Environnementale RE2020 impose la prise en compte de l'impact "pouvoir de réchauffement climatique" sur l'ensemble du cycle de vie des bâtiments. Dans ce cadre, les **matériaux biosourcés, qui séquestrent du CO₂, ont un vrai rôle à jouer**.

Les produits biosourcés fabriqués à partir de particules végétales constituent ainsi des solutions à grand potentiel pour l'isolation des bâtiments. La maîtrise de leurs performances fonctionnelles pose toutefois encore aujourd'hui **un certain nombre de questions directement liées à leur microstructure**, caractérisée par une importante porosité répartie sur plusieurs échelles.

Pour répondre à cette problématique, des caractérisations préliminaires ont été réalisées en microtomographie à rayons X, au laboratoire Navier, puis au **Synchrotron Soleil (Septembre 2021)**. Les essais ont porté sur trois granulats végétaux très différents : moelle de tournesol, chènevotte de chanvre et roseau broyé ; caractérisés in situ à différentes phases de compaction, à l'état sec ou humide.

Cette thèse s'inscrit dans la poursuite de ces recherches, et aura comme objectif principal de **faire le lien entre la microstructure reconstruite grâce aux images synchrotron, et les performances multiphysiques des empilements granulaires biosourcés**. Ces travaux déboucheront sur une modélisation fine du comportement multiphysique des empilements granulaires biosourcés et donneront lieu à des applications **d'optimisation des performances des produits biosourcés** dérivés pour le bâtiment.

Programme de travail

La thèse sera articulée autour de deux volets fondateurs.

1. Le premier volet visera à consolider et analyser les données d'entrée de microstructure des matériaux [Période : Année 1, Localisation : Laboratoire Navier].

Ce volet débutera par l'**exploitation des images synchrotron** obtenues en septembre 2021 (fig. 1) lors de la première campagne de mesure.

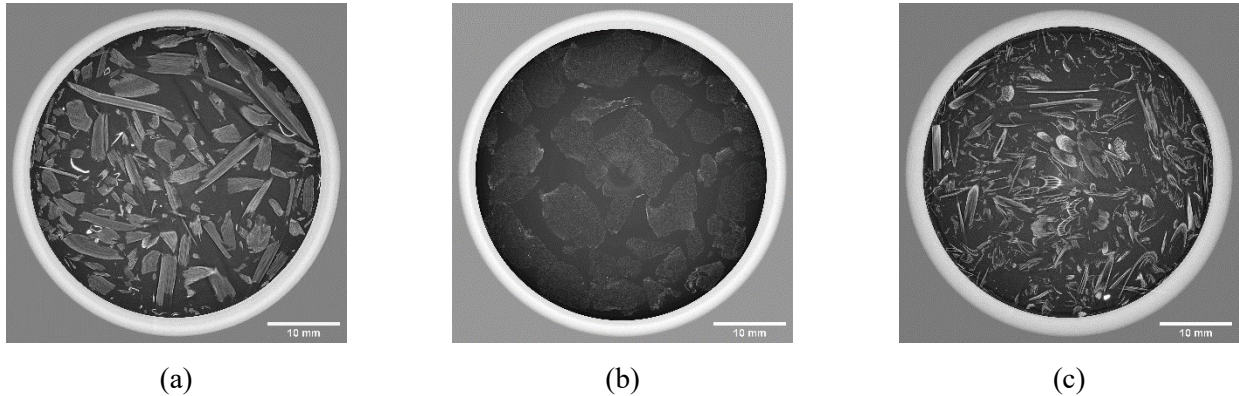


Figure 1: Vues en coupe horizontale d'empilements de particules de (a) chanvre, (b) moelle de tournesol et (c) roseau obtenues par microtomographie sur la ligne Anatomix (Synchrotron Soleil).

Il s'agira plus précisément de travailler sur les reconstructions 3D des scans issus de la microtomographie pour :

- Isoler et caractériser les particules et les pores dans l'échantillon (formes caractéristiques, distributions statistiques de tailles) ;
- Evaluer les densités des particules ;
- Caractériser l'évolution des empilements et les déformations des particules ;
- **Détecter la présence d'eau** dans les échantillons, et identifier les localisations préférentielles de l'eau parmi les multiples échelles de porosité qui caractérisent ces matériaux.

Une **seconde campagne de mesure au Synchrotron** est prévue dans le cadre de la thèse (Année 1 : 2022-2023) afin de compléter la campagne initiale. Le doctorant participera à la préparation, à la réalisation et au dépouillement de cette campagne complémentaire sur la base des protocoles et outils qui auront été développés pour la première campagne.

2. Le second volet s'attachera à faire le lien entre les caractéristiques microstructurelles et les propriétés fonctionnelles [Période : Années 2 et 3, Localisation : Cerema et déplacements ponctuels à l'UBS/IRDL]

Trois approches seront menées dans le cadre de ce second volet. Il y aura pour commencer un travail de **caractérisation mécanique, acoustique et hygrothermique des empilements granulaires biosourcés à l'échelle macroscopique**. Ce travail sera mené à l'échelle du matériau (dimension caractéristique : 5cm x 5cm x 5cm), et s'appuiera sur les moyens expérimentaux du Cerema et de l'IRDL :

- Mécanique : essais de chargement sous presse, essais quasi-statiques ;
- Acoustique : mesures en tube de Kundt, porosimètre, résistivimètre et tortuosimètre ;
- Hygrothermique : plaque chaude gardée, mesures de sorption/désorption et absorption d'eau liquide.

Il s'agira ensuite d'un travail de modélisation. Des **relations de comportement mécanique, acoustique et hygrothermique seront établies** à l'échelle mésoscopique (Adaptation de modèles empiriques et/ou phénoménologiques de la littérature). Les effets des différentes caractéristiques des empilements (orientation des particules, arrangement granulaire, zones de contacts, volume de porosité interparticulaire, tortuosité, ...) pourront alors être quantifiés afin de construire pour chaque type de propriétés un modèle analytique simplifié. En parallèle, des empilements numériques descriptifs de géométries d'empilements réels (Volumes Elémentaires Représentatifs – VER – issus des données synchrotron) pourront être utilisés comme données d'entrée pour des simulations numériques. Une analyse transversale sera finalement conduite pour construire des **ponts entre les différentes propriétés** en fonction de la microstructure.

Profil recherché

Le ou la candidat(e) devra être diplômé(e) en 2022 d'un Master 2 (ou équivalent) dans une des disciplines suivantes : Génie civil, sciences des matériaux, acoustique ou traitement d'images. Il (elle) devra être attiré(e) à la fois par le traitement d'images, la modélisation et les investigations expérimentales en laboratoire. Le ou la candidat(e) devra faire preuve d'autonomie. La maîtrise de langages de programmation (Python) et de l'anglais est un atout.

École Doctorale

L'étudiant sera inscrit dans l'école doctorale ED Bretagne Section 60.

Lieu de la thèse

Cerema, UMRAE, Strasbourg (Localisation principale)

La première année de thèse sera réalisée à l'**Ecole des Ponts ParisTech, Laboratoire Navier, Marne La Vallée** et des déplacements ponctuels seront organisés à l'**Université Bretagne Sud, IRDL, Lorient**.

Encadrement

- Directeur de thèse : Thibaut Lecompte (UBS)
- Co-encadrants : Philippe Glé (UMRAE) et Camille Chateau (Laboratoire Navier)

Financement

- Financement par le Cerema

Partenariats

- Université Bretagne Sud / Institut de Recherche Dupuy de Lôme
- Laboratoire Navier (Ecole des Ponts ParisTech, Univ.Gustave Eiffel, CNRS)
- Université Toulouse 3 / Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions
- Groupe Vicat, Département R&D

Contacts

Les candidatures sont à remonter avec CV et lettre de motivation à l'équipe encadrante avant le 10 avril 2022.

M. Lecompte Thibaut, thibaut.lecompte@univ-ubs.fr, <https://www.irdl.fr/>

M. Glé Philippe, philippe.gle@cerema.fr, www.umrae.fr

Mme. Chateau Camille, camille.chateau@enpc.fr, <https://navier-lab.fr/>