

Modélisation par homogénéisation du comportement non-linéaire de bétons à renforts végétaux par prise en compte de leur microstructure et de son évolution.

Environnement de travail :

École doctorale :	Sciences Mécanique, Acoustique, Électronique, Robotique
Spécialité :	Mécanique
Unité de recherche :	Institut Jean le Rond d'Alembert UMR7190
Équipe :	MISES
Établissement de préparation :	Sorbonne Université
Direction de thèse :	R. Brenner
Co-encadrement :	S. Dartois, R. Cornaggia

Cette thèse sera effectuée à l'Institut Jean le Rond d'Alembert sur le Campus Pierre et Marie Curie. Une collaboration avec M. Quiertant, Chercheur au laboratoire EMGCU de l'Université Gustave Eiffel, pourra être envisagée pour l'obtention ponctuelle de résultats expérimentaux spécifiques.

L'Institut Jean le Rond d'Alembert est membre du GdR Matériaux de Construction Biosourcés

Mots-clefs :

Bétons végétaux, Homogénéisation non-linéaire, Microstructure, Porosité, Taux d'inclusions élevé, Anisotropie, Éléments finis, Endommagement, Plasticité

Résumé :

Le travail proposé s'inscrit dans le contexte global du développement de matériaux de construction bio-sourcés avec un impact environnemental limité. Plus précisément il a comme objectif de contribuer à la modélisation du comportement thermique et mécanique de bétons à base de renforts végétaux à l'aide de méthodes d'homogénéisation dans un cadre non-linéaire. Une attention particulière sera portée sur les liens entre microstructure et comportement effectif notamment en incluant des éléments permettant de prendre en compte l'évolution microstructurale de ce type de bétons au cours d'une sollicitation (évolution de la porosité et de l'anisotropie par exemple). Une identification des propriétés mécaniques des granulats végétaux par le biais d'analyse d'images et de méthodes d'homogénéisation sera également envisagée.

Sujet développé :

Ce travail s'inscrit dans le cadre du développement et de l'optimisation de matériaux de construction à faible impact environnemental. De ce point de vue les bétons renforcés par des particules végétales constituent une alternative très pertinente par rapport aux bétons utilisant des granulats de carrière et ce à plusieurs titres : les granulats végétaux sont une matière première renouvelable, naturellement dégradable, constituant une valorisation de sous-produits d'autres industries et sont localement disponibles ce qui limite l'impact de leur éventuel transport. Par ailleurs, les bétons à renforts végétaux présentent l'avantage de stocker le CO_2 , contrairement aux bétons classiques qui en relâchent. Enfin compte tenu de leur forte porosité, ces matériaux sont particulièrement performants sur le plan de l'isolation thermique mais également du confort hygrométrique et acoustique. Ils permettent donc des économies d'énergies et de matière substantielles. En revanche, le niveau de leurs performances mécaniques reste relativement modeste ce qui tend à limiter leur utilisation en tant qu'élément structurel.

L'objectif de ce travail est de contribuer à la caractérisation, la modélisation et la simulation du comportement thermique et mécanique de bétons végétaux et de leurs constituants à l'aide de méthodes d'homogénéisation analytiques et numériques. Plus précisément on souhaiterait mieux comprendre les liens entre leur microstructure, son évolution en cours de chargement et le comportement effectif de ces bétons dans le but de simuler leur comportement sous sollicitation compressive et proposer une optimisation de leurs performances.



(a) Exemple de réalisation d'un mur avec ossature bois.



(b) Détail de la microstructure.

Figure 1: Exemple de béton à particules végétales : le béton de chanvre et chaux

Du point de vue de la modélisation les enjeux sont multiples. Ils se situent tout d'abord au niveau de la prise en compte de la richesse microstructurale de ces matériaux. Il s'agit en effet de milieux multiphasiques (liant, porosités, particules végétales, fibres...) avec un spectre de formulations large. Il sont également polydispersés notamment en ce qui concerne la porosité qui peut atteindre jusqu'à 80 % en volume si l'on tient compte des microporosités au sein du liant et des particules végétales, ainsi que des macroporosités ouvertes entre les particules. Les renforts végétaux possèdent par ailleurs des géométries polyédriques (parallélépipédiques pour le chanvre et le lin par exemple) ; leur répartition spatiale et leur orientation ont donc une influence sur le comportement du matériau sain qui peut présenter une anisotropie initiale marquée selon le mode de fabrication. Enfin les propriétés des interfaces entre liant et renfort peuvent localement varier en raison d'une

décohésion partielle lors de la phase de séchage ou de l'altération des propriétés du liant en cas de diffusion d'eau résiduelle initialement contenue dans les particules [1].

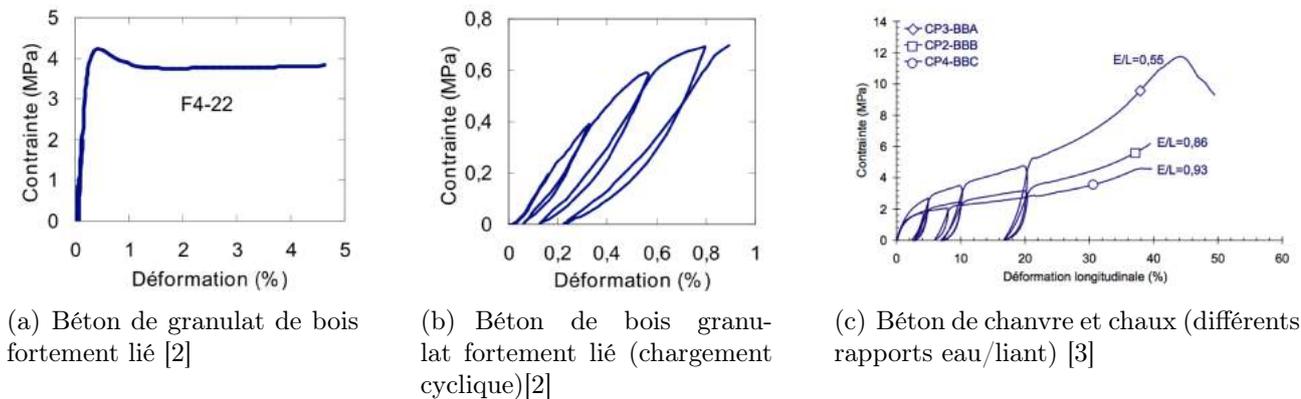


Figure 2: Caractérisation expérimentale du comportement compressif de bétons à renforts végétaux.

Le comportement global des bétons végétaux présente par ailleurs une forte non-linéarité qui possède plusieurs origines supposées. Tout d'abord le comportement des phases peut se révéler lui-même non-linéaire. Les liants possèdent généralement un caractère élasto-endommageable marqué par exemple. Une pseudo-plasticité imputée à une évolution de la porosité et à la friction des lèvres de microfissures se développant au sein du matériau est également observée, de même qu'un accroissement de l'anisotropie au cours de la sollicitation en raison notamment du réarrangement des particules végétales.

Des travaux ont déjà été menés au sein de l'équipe MISES de ∂ 'Alembert dans le cadre de la thèse de Mom [4] pour tenter d'estimer le comportement effectif thermique et élasto-endommageable de bétons de chanvre par une approche itérative. Cette approche s'appuie sur des homogénéisations successives de milieux fictifs intermédiaires faiblement renforcés permettant de traiter des milieux avec de très forts taux de renforts d'inclusions tout en étant assuré d'utiliser les méthodes d'homogénéisation dans leur domaine de validité. Afin de prendre en compte de manière explicite mais simple la géométrie des différentes inclusions (particules végétales parallélépipédiques ou pores) et leur orientation, la résolution des problèmes locaux se fait à l'aide de simulations numériques par éléments finis menant à des milieux homogènes équivalents intermédiaires et final potentiellement anisotropes. Ces travaux ainsi que d'autres approches micromécaniques dédiées aux bétons végétaux dans la littérature [5, 6, 7] ne permettent toutefois pas encore de disposer d'un outil prédictif pour la résistance en compression de ce type de béton. Une meilleure description du caractère non-linéaire de ces bétons constituera donc l'enjeu principal du travail proposé. Il est notamment prévu d'exploiter de manière avancée les champs locaux fournis par les résolutions numériques itératives pour formuler des critères micromécaniques visant à décrire l'évolution de la microstructure, comme la fermeture progressive de pores ou l'écrasement des particules végétales en s'inspirant entre autres de travaux précédemment menés à l'Institut [8, 9, 10]. Les effets de taille des particules seront également investigués. Par ailleurs des incertitudes demeurent quant à l'identification du comportement des particules végétales elles-mêmes qui pour certaines essences se trouvent peu caractérisées dans la littérature et pour lesquelles on ne dispose en général pas d'un jeu de données complet. Des méthodes d'homogénéisation alimentées par des jeux de données obtenus par analyse d'image expérimentales au sein de l'Institut pourront également être mises en oeuvre à l'échelle de ces particules afin d'en identifier le comportement effectif et ainsi améliorer la qualité des estimations obtenues à l'échelle

supérieure du béton.

References

- [1] V. Nozahic, S. Amziane, G. Torrent, K. Saïdi, and H. de Baynast. Design of green concrete made of plant-derived aggregates and a pumice–lime binder. *Cement & Concrete Composites*, 34:231–241, 2012.
- [2] Abdessamad Akkaoui. *Bétons de granulats de bois : Étude expérimentale et théorique des propriétés thermo-hydro-mécaniques par des approches multi-échelles*. PhD thesis, Université Paris Est, Ecole des Ponts ParisTech, Laboratoire Navier, 2014.
- [3] Tai Thu Nguyen. *Contribution à l'étude de la formulation et du procédé de fabrication d'éléments de construction en béton de chanvre*. PhD thesis, Université de Bretagne Sud, 2010.
- [4] Sophanarith Mom. *Modèle d'homogénéisation itérative numérique pour des milieux non linéaires morphologiquement riches : Application aux comportements de bétons de chanvre*. PhD thesis, Université Pierre et Marie Curie, 2013.
- [5] A. Akkaoui, S. Caré, and M. Vandamme. Experimental and micromechanical analysis of the elastic properties of wood-aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 134:346–357, 2017.
- [6] Thanh Hùng Pham. *Modélisation multi-échelles des propriétés thermiques et élastiques de composites chaux-chanvre*. PhD thesis, Université de Bretagne Sud, LIMATB, février 2014.
- [7] Véronique Cérézo. *Contribution à la caractérisation des bétons de chanvres*. PhD thesis, INSA de Lyon, 2005.
- [8] Anouar Brini. *Modélisation multi-échelles du comportement et du vieillissement de mousses syntactiques immergées*. PhD thesis, Université Pierre et Marie Curie, 2004.
- [9] Rim Zouari-Trabelsi. *Approche itérative d'homogénéisation pour le comportement des composites polydisperses : applications à l'endommagement des mousses syntactiques immergées*. PhD thesis, Université Pierre et Marie Curie, 2006.
- [10] Salma Smaoui, Abdelwahed Benhamida, Irini Djeran-Maigre, and Hélène Dumontet. Micro-macro approaches coupled to an iterative process for nonlinear porous media. *Computers, Materials & Continua*, 4(3):153–162, 2006.

Profil recherché :

Le ou la candidat·e devra être titulaire d'un Master 2 (M2) ou équivalent, préférentiellement en mécanique ou sinon en science des matériaux, génie civil, ou mathématiques appliquées. Un goût pour la modélisation analytique et numérique est attendu ainsi qu'une certaine autonomie. Des compétences en programmation (python) et en éléments finis ainsi qu'une bonne maîtrise de l'anglais seront indéniablement un plus.