

OFFRE DE THESE

Septembre 2025 - Septembre 2028

Comportement au jeune âge des composites cimentaire renforcés par des fibres végétales

Contexte

Dans le secteur de la construction, le recours à un renfort fibré dans une matrice minérale (coulis de ciment, béton, mortier, plâtre) est souvent exploité pour améliorer les caractéristiques mécaniques des éléments mis en œuvre : la présence des fibres permet en effet d'augmenter la résistance en traction du matériau et de limiter l'apparition de fissures liées au retrait plastique du béton au jeune âge. A l'état durci, les fibres jouent également un rôle important dans l'ouverture et la propagation des fissures dans les composites : elles empêchent ou limitent le développement de larges fissures au profit de microfissures, moins préjudiciables pour la durabilité de l'ouvrage. Les fibres habituellement utilisées dans les matériaux ont l'inconvénient d'être dérivées de ressources non renouvelables (fibres d'acier, de polypropylène, de verre, PVA, etc.). Les fibres végétales, du fait de leur caractère naturel et renouvelable, semblent très prometteuses pour remplacer les fibres traditionnelles. Parmi les fibres végétales, plusieurs se démarquent en fonction de leurs caractéristiques et de leur origine : le lin possède la filière la plus développée et la plus disponible en France. L'état de l'art met en évidence un intérêt sans cesse croissant pour le développement de matériaux biosourcés. Toutefois, la plupart des études s'intéressent aux isolants végétaux ou matériaux biosourcés non porteurs. Les recherches portant sur les composites cimentaires incorporant des fibres végétales pour des applications structurelles sont davantage limitées.

Les fibres végétales ont notamment l'avantage de leur faible coût économique et environnemental, et présentent de bonnes propriétés mécaniques, souvent comparables aux fibres manufacturées. Toutefois, leur mise en application industrielle est toujours très limitée, du fait du manque de connaissances sur les propriétés des composites cimentaires renforcés de fibres végétales. Les essais traditionnels sont souvent réalisés pour caractériser ces matériaux mais ils ne fournissent généralement que des valeurs comparatives, ne permettant pas la bonne compréhension de l'efficacité des fibres dans la matrice. En effet, les fibres végétales ayant des caractéristiques différentes des fibres traditionnelles, les propriétés fonctionnelles des composites vont être modifiées. Du fait de leur composition chimique et leur structure, les fibres végétales possèdent une forte capacité d'absorption d'eau, ce qui impacte ensuite les caractéristiques à l'état frais des matériaux cimentaires. Par ailleurs, la composition chimique des fibres végétales, qui dépend également de la variété de la fibre, va généralement impacter plus ou moins significativement la cinétique d'hydratation du liant, affectant in fine les propriétés mécaniques du composite. Ainsi, des essais spécifiques et adaptés sont nécessaires afin de mieux caractériser les propriétés fonctionnelles des composites cimentaires renforcés de fibres végétales (résistance à la fissuration, quantification du retrait, évaluation de la durabilité). Différents essais ont pu être développés dans certaines études mais ne permettent pas d'approfondir suffisamment la compréhension de la répartition des fibres dans la matrice ou les mécanismes régissant l'adhérence de la fibre à la matrice à la Zone de Transition Interfaciale (ZTI). L'approfondissement des connaissances et la compréhension des mécanismes à cette ZTI sont ainsi des paramètres clés nécessaires au développement de ce type de matériaux.

Objectifs

L'ambition de ce travail, visant à mieux comprendre le comportement au jeune âge des composites cimentaires biofibrés, est de pouvoir permettre ensuite une utilisation plus rapide et pertinente des fibres végétales dans les composites en remplacement des fibres traditionnelles minérales ou pétro-sourcées. Par ailleurs, les méthodes

d'essais expérimentaux couplés à des analyses d'images ou de tomographies qui pourront être développées et utilisées dans ce projet pourront être utiles à la communauté des sciences de matériaux, et éventuellement transposables à d'autres matériaux fibrés (ex : matrice polymère).

Aussi, le premier objectif de ce travail est de permettre des avancées significatives dans la compréhension des propriétés fonctionnelles des composites cimentaires biofibrés, en lien avec les caractéristiques de l'interface fibre/matrice et leur effet sur les propriétés fonctionnelles du composite. Le deuxième objectif sera de développer des nouvelles méthodes d'essais basées sur des couplages entre des essais de mesures de propriétés physico-mécaniques des composites et des méthodes d'observations 3D de la matière (tomographie) associé à l'analyse d'images. Dans ce but, les propriétés des matériaux seront caractérisées à deux échelles différentes d'analyses (de l'échelle microscopique à l'échelle macroscopique pour les propriétés fonctionnelles) afin de définir les paramètres clés permettant d'avoir les meilleures propriétés des composites. En particulier, BIOFIB s'attachera à répondre aux verrous scientifiques suivants :

- Etudier l'influence des caractéristiques physiques, morphologiques et chimiques des fibres de lin sur les propriétés rhéologiques des mélanges biofibrés.
- Etablir des liens entre l'organisation interne des fibres dans la matrice et le développement du retrait et de la fissuration, avec l'observation du développement de cette fissuration de manière spatiale et volumique.
- Apporter une meilleure compréhension de la formation de la fissuration au jeune âge liée au retrait plastique et l'effet des fibres végétales sur cette fissuration.
- Evaluer l'impact des interactions entre les composés végétaux et minéraux sur l'évolution des propriétés à court et moyen terme des composites biofibrés.

Méthodologie

① Comportement rhéologique des composites cimentaires biofibrés

Comprendre, par une approche rhéologique, les phénomènes régissant les écoulements du mélange à l'état frais et les enchevêtrements des fibres. L'influence des caractéristiques physiques, morphologiques et chimiques des fibres de lin et de chanvre sur les propriétés rhéologiques des mélanges biofibrés sera également étudiée dans ce lot.

② Caractérisation du retrait plastique et fissuration au jeune âge

Il s'agira de déterminer le retrait plastique de ce matériau et l'évolution des pressions capillaires internes durant les premières heures de maturation. De plus, l'objectif sera d'établir des corrélations entre l'organisation de la matière, notamment l'orientation des fibres, et les propriétés de fissuration des composites au cours du temps.

③ Adhésion fibre-matrice : étude de la zone de transition interfaciale

Cette tâche se focalisera sur l'observation de l'interface fibre-matrice ainsi que sur son développement. L'objectif sera notamment d'établir un lien entre les modifications observées au cours du temps de cette interface et les propriétés d'adhésion mesurées mécaniquement.

Profil du (de la) candidat(e)

Le(a) candidat(e) devra avoir être titulaire d'un Master 2 ou d'un diplôme d'ingénieur en génie civil ou science des matériaux. Ci-dessous sont listées les compétences recherchées pour cette offre :

- Maîtrise de la langue française à l'oral comme à l'écrit (expression et rédaction), niveau C1 minimum ;
- Goût prononcé pour l'expérimentation en laboratoire ;
- Faire preuve d'une bonne capacité d'analyse et de synthèse, être autonome et force de proposition ;
- Capacité d'organisation du travail et de gestion des priorités pour respecter des délais ;
- Capacité à s'organiser et gérer ses priorités pour respecter des délais ;
- Rigueur dans le travail et la rédaction ;
- Une expérience dans le domaine des matériaux de construction biosourcés seront fortement appréciées.

Cette thèse sera réalisée dans le cadre du **projet ANR BIOFIB (2025-2029)**. Le(a) candidat(e) sera intégré(e) à ce projet et devra participer activement aux réunions de projets ainsi qu'à la rédaction des livrables.

Employeur

Université d'Artois – LGCgE. L'activité de recherche se fera dans l'équipe ER3 (Matériaux Béton et Composites) sur le pôle de l'IUT de Béthune (62). Le LGCgE est un laboratoire de recherche pluridisciplinaires en Région Nord Pas de Calais, sous la tutelle de l'Université d'Artois, de l'Université de Lille, de l'IMT-Nord Europe et de Junia. Organisé en 5 équipes de recherche, le laboratoire compte plus de 200 membres. Les activités principales du LGCgE vont des géo-matériaux aux bâtiments.

Pour candidater, envoyer un CV étendu, relevés de notes M1/M2 et lettre de motivation à :

- Chafika Djelal-Dantec (PR) chafika.dantec@univ-artois.fr
- Yannick Vanhove (PR) yannick.vanhove@univ-artois.fr
- Jonathan Page (MCF) jonathan.page@univ-artois.fr

Références

- Ajouguim S., Page J., Djelal C., Waqif M., & Saâdi L. (2021). Impact of Alfa fibers morphology on hydration kinetics and mechanical properties of cement mortars. *Constr. Build. Mater.*, 293, 123514.
- Baley C., Gomina M., Breard J., Bourmaud A., & Davies P. (2020). Variability of mechanical properties of flax fibres for composite reinforcement. A review. *Ind. Crops Prod.*, 145, 111984.
- Banthia N., & Gupta R. (2006). Influence of polypropylene fiber geometry on plastic shrinkage cracking in concrete. *Cem. Concr. Res.*, 36(7), 1263–1267.
- Bentegri I., Boukendakdji O., Kadri E.-H., Ngo T. T., & Soualhi H. (2020). Rheological and tribological behaviors of polypropylene fiber reinforced concrete. *Constr. Build. Mater.*, 261, 119962.
- Boghossian E., & Wegner L. D. (2008). Use of flax fibres to reduce plastic shrinkage cracking in concrete. *Cem. Concr. Compos.*, 30(10), 929–937.
- Feng Y.-H., Li Y.-J., Xu B.-P., Zhang D.-W., Qu J.-P., & He H.-Z. (2013). Effect of fiber morphology on rheological properties of plant fiber reinforced poly(butylene succinate) composites. *Compos. Part B Eng.*, 44(1), 193–199.
- Ferreira S. R., Pepe M., Martinelli E., de Andrade Silva F., & Toledo Filho R. D. (2018). Influence of natural fibers characteristics on the interface mechanics with cement based matrices. *Compos. Part B Eng.*, 140, 183–196.
- Ghourchian S., Wyrzykowski M., Plamondon M., & Lura P. (2019). On the mechanism of plastic shrinkage cracking in fresh cementitious materials. *Cem. Concr. Res.*, 115, 251–263.
- Laverde V., Marin A., Benjumea J. M., & Rincón Ortiz M. (2022). Use of vegetable fibers as reinforcements in cement-matrix composite materials: A review. *Constr. Build. Mater.*, 340, 127729.
- Ma, L., Zhang, Q., Lombois-Burger, H., Jia, Z., Zhang, Z., Niu, G., & Zhang, Y. (2022). Pore structure, internal relative humidity, and fiber orientation of 3D printed concrete with polypropylene fiber and their relation with shrinkage. *J. Build. Eng.*, 61, 105250.
- Martinie L. (2010). Comportement rhéologique et mise en œuvre des matériaux cimentaires fibrés. Thèse de doctorat, Université Paris-Est.
- Onuaguluchi, O., & Banthia N. (2016). Plant-based natural fibre reinforced cement composites: A review. *Cem. and Concr. Comp.*, 68, 96–108.
- Page J. (2017). Formulation et caractérisation d'un composite cimentaire biofibré pour des procédés de construction préfabriquée. Thèse de doctorat, Université de Caen Normandie.
- Page J., Khadraoui F., Boutouil M., & Gomina M. (2017). Multi-physical properties of a structural concrete incorporating short flax fibers. *Constr. Build. Mater.*, 140, 344–353.
- Page J., Khadraoui F., Gomina M., & Boutouil M. (2021). Enhancement of the long-term mechanical performance of flax fiber-reinforced cementitious composites by using alternative binders. *J. Build. Eng.*, 40, 102323.
- Page J., Khadraoui F., Gomina M., & Boutouil M. (2022). Hydration of flax fibre-reinforced cementitious composites: Influence of fibre surface treatments. *Eur. J. Environ. Civ. Eng.*, 26(12), 5798–5820. DOI: 10.1080/19648189.2021.1918260
- Pons Ribeira S. (2022). Valorisation des fibres végétales dans les matériaux cimentaires: Application dans les formulations de chapes fluides. Thèse de doctorat, Université Gustave Eiffel.
- Rahimi M., Hisseine O. A., & Tagnit-Hamou A. (2022). Effectiveness of treated flax fibers in improving the early age behavior of high-performance concrete. *J. Build. Eng.*, 45, 103448
- Saad M. (2022). Potentiel des fibres végétales courtes dans l'amélioration du comportement mécanique des mortiers. Thèse de doctorat, INSA Toulouse.
- Talibi S., Page J., Djelal C., & Saâdi L. (2024). Impact of treated red-algae fibers on physico-mechanical behavior of compressed earth bricks for construction. *Eur. J. Environ. Civ. Eng.*, 1–34.
- Toledo Filho R. D., Ghavami K., Sanjuán M. A., & England G. L. (2005). Free, restrained and drying shrinkage of cement mortar composites reinforced with vegetable fibres. *Cem. and Concr. Comp.*, 27(5), 537–546.