

Fibres végétales vs fibres polypropylène : approche globale pour une substitution efficace dans les mortiers

Mahmoud Saad¹, Vincent Sabathier¹, Anaclet Turatsinze¹

¹ LMDC, université de Toulouse, INSA, UPS, France. (Corresponding author: Saad@insa-toulouse.fr)

RESUME Les fibres naturelles offrent une opportunité pour le développement de composites écologiques à base de liants minéraux grâce à leurs propriétés spécifiques, leur origine naturelle et renouvelable ainsi que leur faible impact environnemental lors de la production. L'objectif principal de ce travail expérimental est de comparer le comportement des mortiers renforcés par des fibres polypropylènes ou par des fibres végétales. Des essais sur l'ouvrabilité du matériau suivis par une étude sur la sensibilité à la fissuration au jeune âge et sur la résistance à l'impact ont été réalisés. Les résultats montrent que le renforcement en fibres naturelles peut être considéré comme une alternative écologique aux fibres de polypropylène pour améliorer la résistance à l'impact des mortiers et pour diminuer sa sensibilité à la fissuration au jeune âge.

Mots-clés Matériaux biosourcés, Fibres végétales, Fibres synthétiques, Fissuration, Impact

I. INTRODUCTION

De nos jours, l'activité humaine a un impact considérable sur l'environnement. Le secteur du bâtiment constitue à lui seul 40% des dépenses énergétiques et 36% des émissions de gaz à effet de serre dans l'union européenne (Commission of the European Union, DGE, ICF International, 2015). Ce constat est une invitation à trouver des moyens qui contribuent à la diminution de cet impact et donc d'intégrer le facteur environnemental dans la conception des bâtiments. Un des moyens proposés est de développer des matériaux de construction innovants d'origine biosourcée comme les mortiers incorporant des fibres végétales (Magniont, 2010) (Page, 2017). Ces dernières sont disponibles localement à faible coût, peuvent être issues de déchets agricoles ou industriels et leurs propriétés mécaniques en font une alternative séduisante.

Dans ce travail, le potentiel de deux types de fibres végétales (lin et chanvre) est exploré. Ces fibres sont utilisées avec deux liants, cimentaire et pouzzolanique. Le comportement des mortiers renforcés par ces fibres est comparé à une référence non fibrée ainsi qu'à un renforcement par des fibres de polypropylène. Différents dosages sont testés afin d'évaluer la pertinence de cette substitution. Une adaptation de la rhéologie s'avère indispensable au départ. La sensibilité à la fissuration due aux variations dimensionnelles des mortiers au jeune âge est évaluée par le biais d'un essai de retrait empêché. Des essais de la résistance à l'impact ont été aussi réalisés.

II. MATERIAUX

A. Liants minéraux

Dans cette étude expérimentale, deux types de liants ont été utilisés : un liant cimentaire (**C**), liant le plus utilisé dans la construction et un liant pouzzolanique (**P**) à base de 30% de chaux aérienne et de 70 % de métakaolin. Dans ce dernier cas, 3% de sulfate de potassium (K_2SO_4) sont ajoutés

pour améliorer la résistance au jeune âge (Dinh, 2014). Un ajout de 1% de superplastifiant est systématiquement nécessaire pour contrôler l'ouvrabilité du mélange à l'état frais.

B. Le sable et l'eau

Un sable siliceux roulé conforme aux normes NF P 18-545 - EN12620 / EN13139 a été utilisé. Le rapport sable/liant est égal à 2. Le rapport eau/liant est de 0,42 pour le liant cimentaire et 0,57 pour le liant pouzzolanique.

C. Les fibres

Les fibres de polypropylène (**Po**) utilisées sont mono filamentaire avec une longueur de 12 mm, un diamètre de 30 μm et une masse volumique de 900 kg/m^3 . Deux dosages de fibres ont été choisis (0,25% et 0,5% en masse de liant).

Les fibres végétales retenues dans cette étude sont le lin (**Li**) et le chanvre (**Ch**). Elles sont utilisées brutes sans aucun traitement préalable. Une étude granulométrique manuelle et numérique nous a permis de montrer que 60% des fibres de chanvre et 90% des fibres de lin ont une longueur qui varie entre 10 et 20 mm, leur masse volumique est de 1500 kg/m^3 . Deux dosages ont été choisis pour chaque type des fibres (0,5% et 1% en masse de liant).

III. ESSAIS ET RESULTATS

A. Adaptation de la rhéologie des mortiers

La rhéologie des mortiers a été évaluée avec l'essai au maniabilimètre qui mesure le temps d'écoulement du matériau (NF P18-452) et l'essai à la table à secousses qui détermine le diamètre d'étalement du matériau (NF EN 1015-3).

Les résultats de ces deux essais confirment que l'ajout des fibres impacte fortement la rhéologie du mortier (temps d'écoulement augmenté, étalement diminué). Pour résoudre ce problème, l'ajout de l'eau pour compenser la quantité d'eau absorbée par les fibres (1,5 x masse des fibres ; valeurs mesurées par immersion des fibres dans l'eau pendant 24 heures) est nécessaire mais pas suffisant. L'ajout d'un superplastifiant (0,5 x masse fibres) a permis de maintenir les paramètres d'ouvrabilité à $\pm 10\%$ de la valeur de référence.

B. Sensibilité à la fissuration due au retrait empêché

Afin de suivre l'évolution de la fissuration générée dans le mortier lors d'un retrait empêché, des moules prismatiques (50x25x3 cm^3) (Figure 1) inspirés de la norme ASTM C1579 ont été utilisés. Ces moules ont été fabriqués avec une réservation constituée de surélévations dont les hauteurs ont été choisies en cohérence avec la hauteur totale du moule (Bertelsen et al., 2020).

Pour stimuler la fissuration, il est nécessaire d'accélérer le séchage du matériau en le plaçant dans des conditions sévères. Les essais ont été réalisés dans un tunnel ventilé (deux ventilateurs chauffants) qui permettent d'assurer les conditions suivantes : $T = 35 \pm 5^\circ\text{C}$, $HR = 30 \pm 5\%$, $V_{\text{vent}} = 1\text{m/s}$.

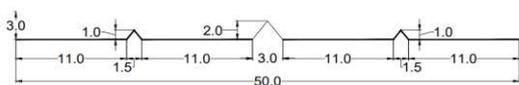


FIGURE 1. Moules avec surélévations (cm)

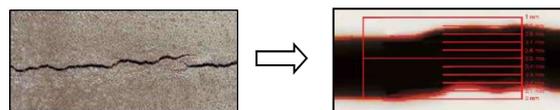


FIGURE 2. Mesure de la largeur maximale (mm)

En se référant à la norme ASTM, le coefficient CRR (Cracking Reduction Ratio) a été calculé selon la relation ci-dessous. La largeur de fissure maximale (L_f pour le mortier renforcé par des fibres, L_{nf} pour la référence) a été mesurée à l'aide d'une règle numérique sur base de photographies.

$$CRR = \left(1 - \frac{L_f}{L_{nf}}\right) \times 100$$

Les figures 3 et 4 montrent le coefficient de réduction pour toutes les formulations fibrées par rapport au mortier non fibré pour le liant cimentaire et pouzzolanique. Les résultats montrent que l'ajout des fibres permet de diminuer significativement la sensibilité à la fissuration. La réduction est plus élevée pour les mortiers renforcés par les fibres de lin comparativement aux fibres de chanvre. Cette différence pourra être attribuée à la manière de découpe de chaque type des fibres qui n'est pas similaire : mécanique pour les fibres de lin et manuelle pour les fibres de chanvre. Ceci modifie la distribution des fibres dans le mortier. De plus, un dosage plus important (de 0,5 à 1 %) en fibres entraîne une réduction plus importante. Pour une substitution des fibres polypropylènes, un dosage double et une découpe précise permettent une réduction équivalente. De plus, cette diminution de la sensibilité à la fissuration pourra être attribuée aussi à la résistance à la traction des fibres ainsi qu'à leur module d'élasticité qui sont plus importants que ceux de la matrice au jeune âge. (CNF /PNF : *Ciment ou pouzzolaniques (C/P) non (N) fibré (F)* ; CFLi1/PFLi1 : *Ciment ou pouzzolanique (C/P) fibré (F) par 1% les fibres de lin (Li)...etc.*)

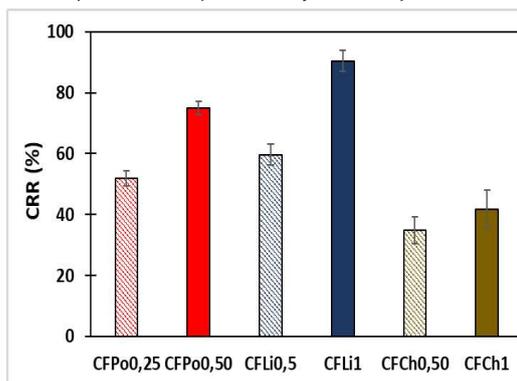


FIGURE 3. CRR du mortier cimentaire

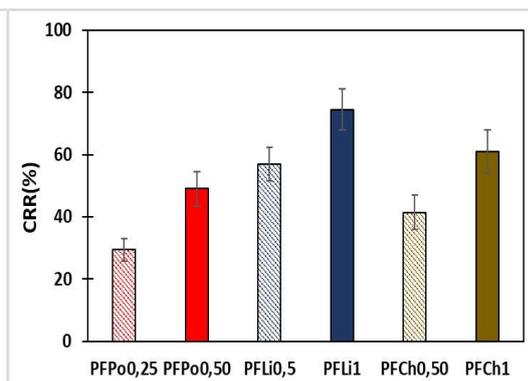


FIGURE 4. CRR du mortier pouzzolanique

C. La résistance à l'impact

Afin d'évaluer la résistance à l'impact, une méthode qui consiste à laisser tomber une bille métallique ($m = 0,65$ kg, $h = 0,2$ m (P) ou $0,4$ m (C)) sur une plaque de $30 \times 30 \times 2$ cm³ a été développée (Figure 5) pour déterminer l'énergie nécessaire pour l'initiation de la première fissure et pour de la ruine de la plaque. Le nombre de coups (n) requis est détecté à l'aide d'un dispositif fixé sur la plaque permettant de mesurer la vitesse des ondes ultrasonores (Figures 5-6). L'utilisation de cet appareil permet de limiter les artéfacts induits par l'opérateur. L'énergie a été calculée par la formule suivante :

$$E = n.m.g.h$$

Les figures 7 et 8 montrent l'énergie cumulée à l'impact pour toutes les formulations cimentaires et pouzzolaniques respectivement. Les résultats obtenus montrent que toutes les formulations (avec ou sans fibres) ont la même rigidité (même vitesse des ondes avant l'apparition de la première fissure). Pour les mortiers de référence, la rupture totale est obtenue pour une faible énergie, ce qui correspond à un matériau fragile. Dans le cas des mortiers renforcés par des fibres végétales ou de polypropylènes, une augmentation importante de l'énergie cumulée pour la rupture a été enregistrée. Cette amélioration est plus remarquable pour les mortiers renforcés par 0,5% des fibres polypropylènes et pour les deux liants.

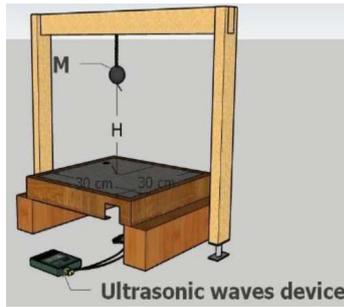


FIGURE 5. Essai à l'impact

Les résultats montrent que 1% de fibres de chanvre et 0,5% de fibres de lin pourraient se substituer aux 0,25% des fibres polypropylènes. Cette amélioration peut être attribuée à la bonne adhérence des fibres à la matrice qui permet un transfert de contraintes à travers la fissure et ce dès son initiation. La fragilité de la matrice est ainsi compensée et le composite peut encore absorber une énergie d'impact supérieure avant rupture. Ceci est aussi intimement lié à la longueur des fibres, leurs propriétés mécaniques, leur ancrage avec la matrice ainsi que leur bonne distribution.

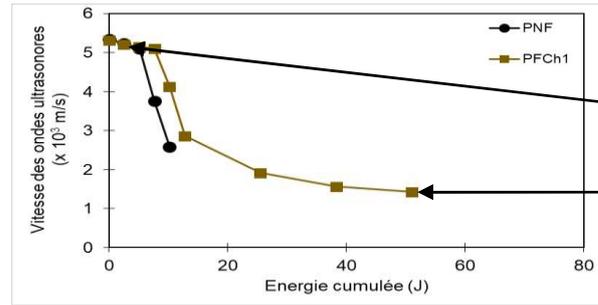


FIGURE 6. Mesure de la vitesse des ondes ultrasonores

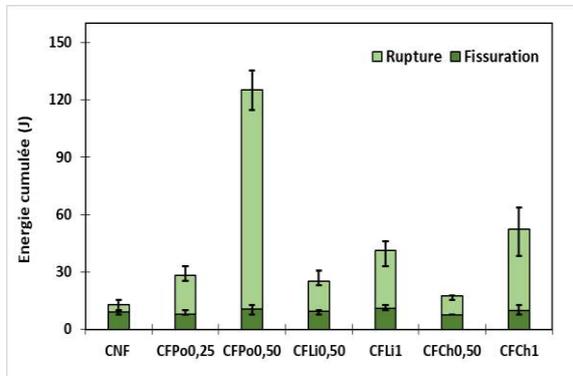


FIGURE 7. Test à l'impact pour le liant cimentaire

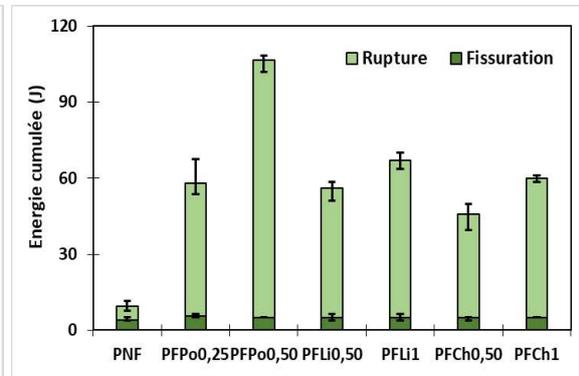


FIGURE 8. Test à l'impact pour le liant pouzzolanique

IV. CONCLUSION

Cette étude permet de conclure que le renforcement par des fibres naturelles peut être considéré comme une alternative écologique aux fibres de polypropylène pour améliorer la résistance à l'impact des mortiers et pour diminuer leur sensibilité à la fissuration au jeune âge. L'ajout de l'eau et d'un superplastifiant, un dosage double en fibres et la manière dont ces fibres sont découpées sont des variables d'ajustement pour consolider la pertinence de la substitution des fibres de propylène par des fibres végétales.

REFERENCES

- Bertelsen, I.M.G., Ottosen, L.M., Fischer, G., 2020. Influence of fibre characteristics on plastic shrinkage cracking in cement-based materials: A review. *Construction and Building Materials* 230, 116769. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116769>
- Commission of the European Union, Directorate General for Energy, ICF International, 2015. *Energy Performance of Buildings Directive: compliance study: final report*. Publications Office, LU.
- Dinh, T.M., 2014. *Contribution au développement de béton de chanvre préfabriqué utilisant un liant pouzzolanique innovant* (Thèse de doctorat). Université Toulouse III - Paul Sabatier.
- Magniont, C., 2010. *Contribution à la formulation et à la caractérisation d'un écomatériau de construction à base d'agroressources* (Thèse de doctorat). Université Toulouse III - Paul Sabatier.
- Page, J., 2017. *Formulation et caractérisation d'un composite cimentaire biofibré pour des procédés de construction préfabriquée* (Thèse de doctorat). Université de Caen Normandie.