

Characterizations mechanical and microstructural of flax fibre cement composite reinforced

Caractérisation microstructurale et mécanique d'un composite cimentaire renforcé par des fibres de lin

Tung L. H.¹, Khadraoui F.¹, Boutouil M.¹ and Gomina M.²

¹Ecole d'Ingénierie et Travaux de la Construction de Caen, 14610, Epron, France

²Laboratoire CRISMAT UMR 6508 CNRS, ENSICAEN 14050 Caen Cedex 4, France

Abstract. With the purpose of the flax fibre valuing in construction materials, this study focuses on the characterizations mechanical and microstructural of flax fibre cement composite reinforced. The mechanical strength was studied as the function of fibre volume ratio and length. Meanwhile, the microstructural analysis investigated the homogeneity of fibre scattering, the interaction fibre/cement matrix and the influence of flax fibres on the defects microstructures. The results show the interesting mechanical properties of flax fibre in comparison with other fibre vegetable. But they are damaged in an alkaline environment such as concrete or cement composite. In fresh state, a good adherence between fibre and cement matrix was found. But as hydrophilic, the flax fibres absorb water and become inflated. Afterwards, the fibres return deflated at the drying time and this dry/wet cycling reduce the fibre/matrix bond. Being reinforced by the flax fibres, the brute failure of cement materials was replaced by the one more ductile when the fibre ratio increased. This transition was evaluated by the toughness indexes that allow measuring the energy absorption of flax fibre.

Résumé. Dans la perspective de valorisation des fibres de lin dans les matériaux de construction, la présente étude s'intéresse à la caractérisation microstructurale et mécanique d'un composite cimentaire renforcé par des fibres de lin. Les analyses microstructurales au MEB ont été menées pour évaluer l'homogénéité de la distribution des fibres, la qualité de l'interaction fibre/matrice et l'influence de leur présence sur les défauts microstructuraux. Le comportement mécanique en flexion du mortier renforcé par les fibres de lin est étudié en fonction de la longueur et la teneur en fibres. Les résultats indiquent une bonne adhésion entre les fibres et la matrice à l'état frais. Mais les fibres étant hydrophiles, elles gonflent pendant la prise du ciment et le retrait lors du séchage engendre alors des déchaussements. Les résultats de caractérisation mécanique sont encourageants. Tout d'abord, la fissuration du mortier due au retrait au jeune âge est fortement réduite du fait de la présence des fibres. Ensuite, la rupture brutale de la matrice en monolithe laisse place à un comportement quasi-ductile quand la teneur ou la

longueur de fibre augmente. Ce changement de comportement, analysé en termes d'indice de ténacité, illustre la capacité remarquable des fibres de lin à renforcer les matrices cimentaires du fait de leurs bonnes propriétés mécaniques.

1 Introduction

Dans le secteur de la construction, le recours à un renfort fibré dans une matrice minérale est souvent exploité pour améliorer les caractéristiques mécaniques des éléments mis en œuvre.

Les fibres métalliques et synthétiques présentent l'inconvénient d'être issues de ressources naturelles non renouvelables. Les enjeux économiques liés aux coûts croissants des ressources fossiles, et à leur raréfaction amènent donc à explorer d'autres sources de matières premières et à envisager d'autres filières de production. De ce point de vue, les fibres naturelles pourraient constituer, pour l'industrie de la construction, une solution d'avenir. En effet, la réduction de l'impact environnemental des matériaux de construction constitue un réel enjeu de développement durable y compris pour la filière béton.

Dans le monde des fibres végétales, les fibres de aux performances élevées [1, 2], sont utilisées depuis plusieurs années dans l'industrie automobile. La valorisation de cette ressource locale constitue une motivation non négligeable à mener cette étude [3].

La figure 1 montre le comportement typique du mortier renforcé par des fibres. L'ajout de fibres augmente la résistance à la traction, le domaine plastique du matériau est plus étendu : le comportement devient ductile.

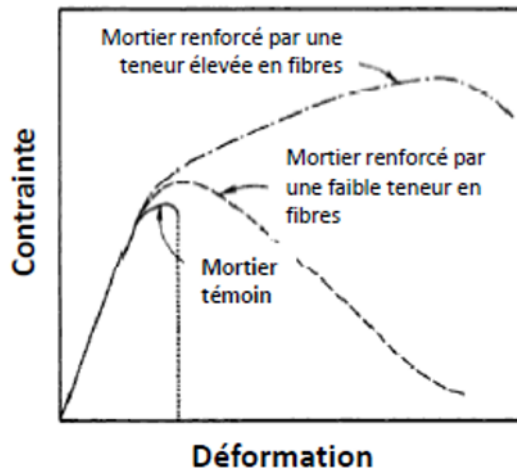


Fig. 1. Les courbes typiques de contrainte-déformation de mortiers renforcés par des fibres [1]

Dans ce travail, nous évaluons le comportement mécanique de matériaux composites obtenus par l'association de fibres courtes de lin (différents taux massiques et différentes longueurs) à une matrice cimentaire. Plusieurs formulations ont été étudiées, notamment pour améliorer la maniabilité des mélanges. En effet, l'ajout de fibres hydrophiles rend le mélange moins maniable [4] avec une répartition non uniforme des fibres dans la matrice. Celles-ci tendent à s'agglomérer en formant des boulettes de lin.

A l'échelle microscopique, les images de MEB de la surface de rupture sont analysées afin d'évaluer l'interaction entre les fibres et la matrice cimentaire.

2 Etude expérimentale

2.1 Matériaux

Les fibres de lin utilisées dans notre recherche sont récoltées en Normandie. Leurs propriétés physiques et mécaniques sont présentées dans le tableau 1 :

Tableau 1. Propriétés physiques et mécaniques des fibres de lin

Module d'élasticité	Déformation ultime	Résistance à la traction	Diamètre
62 ± 32 (GPa)	$2,5 \pm 1,1$ (%)	1028 ± 607 (MPa)	$25,9 \pm 3,4$ (μm)

Le ciment utilisé est un ciment Portland ordinaire CEM I 52,5 N conformément à la norme Européenne NF EN 197-1 [5]. Le sable est un concassé 0/4 conformément à la norme Française XP P 18-545 [6]. Le sable est séché initialement jusqu'à obtention d'une masse constante. Les fibres sont ajoutées au mortier en remplacement partiel du sable aux différents taux correspondant à la teneur en fibres. Conformément à la norme Européenne NF EN 196-1 [7], la proportion massique du mélange ciment, sable et eau est 1:3:0,5, respectivement. Les éprouvettes 4x4x16 cm sont confectionnées afin de caractériser le composite ciment/lin à l'état durci. Après démoulage, les éprouvettes sont conservées dans l'eau à $20 \pm 2^\circ\text{C}$ jusqu'au moment des essais.

2.2 Méthodes d'essai

2.2.1 Essai de flexion

L'essai de flexion trois points est mené conformément à la norme Européenne 196-1 sur une presse électromécanique IGM de capacité 50kN : la distance entre les deux appuis est 10cm et la vitesse de chargement est 50 N/s. La courbe de charge-déplacement est enregistrée en cours d'essai. Les propriétés mécaniques à 7 jours des éprouvettes sont étudiées à l'état durci.

2.2.2 Observation au MEB

Sur les deux demi-éprouvettes obtenues après l'essai en flexion, nous récupérons la surface de rupture à l'aide d'une tronçonneuse. Puis, un échantillon carré de 5mm de côté est prélevé et collé sur une platine de MEB par du scotch carbone double face. La métallisation par pulvérisation cathodique au carbone est ensuite réalisée formant une fine couche conductrice sur la surface de l'échantillon. Après préparation, l'échantillon est mis dans la chambre d'observation du MEB (type Carl ZEISS SUPRA 55).

3 Résultats et discussion

3.1 Résistance à la flexion

Les résistances à la flexion du mortier de lin sont présentées dans le tableau 2 et en figure 2. Des super-plastifiants sont utilisés dans les formulations dénommées M.

Une différence importante de la résistance à la flexion des éprouvettes renforcées par fibres par rapport à celle du témoin a été notée. Elle est augmentée de 8 à 90% pour les mortiers fibrés avec adjuvants et de 2 à 43% pour les éprouvettes sans adjuvant. L'utilisation de super-plastifiant a permis une augmentation et une amélioration de la maniabilité du mélange. La dispersion des fibres dans la

matrice est donc plus uniforme et la résistance à la traction indirecte de l'éprouvette est plus importante.

Des études [2] ont montré l'existence d'un optimum du taux volumique et de la longueur de fibres pour différents types de fibre (par exemple : 4% et 38 mm pour des fibres de coco, 3% et 25 mm pour des fibres de jute). Dans cette étude (Figure 3 à 6), nous avons trouvé des optima de 3 à 4% pour la teneur en fibres et de 30mm pour la longueur dans un mélange avec super-plastifiant.

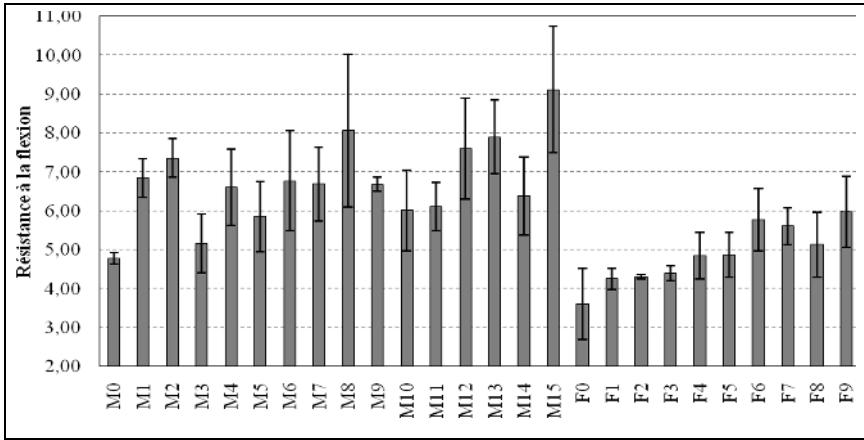


Fig. 2. Résistance à la flexion des éprouvettes

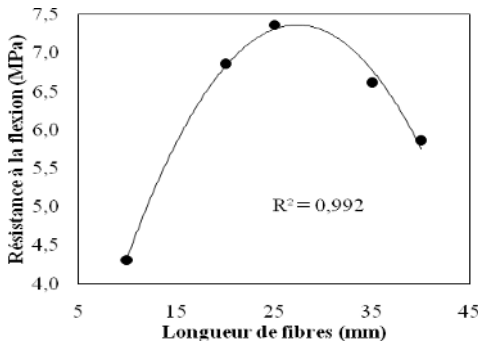


Fig. 3. Résistance à la flexion des formulations à 2% de teneur volumique en fibres

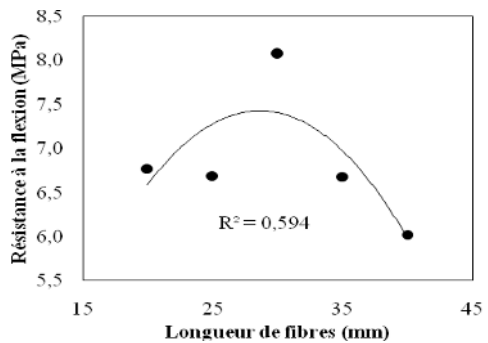


Fig. 4. Résistance à la flexion des formulations à 3% de teneur volumique en fibres

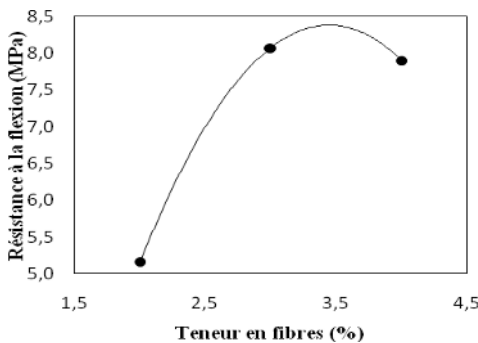


Fig. 5. Résistance à la flexion des formulations à 4% de teneur volumique en fibres

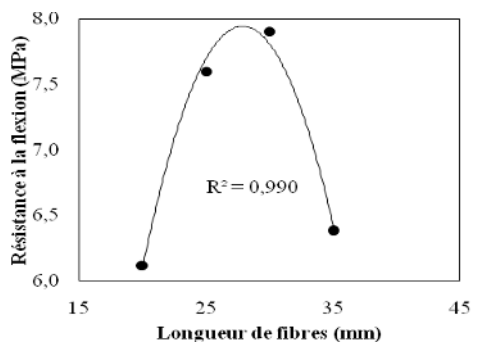


Fig. 6. Résistance à la flexion des formulations à 30mm de longueur de fibre

Tableau 2. Résistance (en MPa) à la flexion des éprouvettes

% Fibres (%)	Longueur (mm)	Référence	28 jours	
			Rf	ET
<i>Sans adjuvant</i>				
0	-	Témoins F0	4,18	0,34
1,0	10	F1	4,26	0,27
2,0	10	F2	4,31	0,05
3,5	10	F3	4,41	0,19
1,0	30	F4	4,86	0,59
2,0	30	F5	4,87	0,58
3,5	30	F6	5,77	0,80
1,0	40	F7	5,61	0,47
2,0	40	F8	5,13	0,83
3,5	40	F9	5,97	0,92
<i>Ajout d'adjuvant</i>				
0	-	Témoins M0	4,78	0,14
2	20	M1	6,85	0,49
2	25	M2	7,36	0,49
2	30	M3	5,16	0,75
2	35	M4	6,61	0,98
2	40	M5	5,86	0,90
3	20	M6	6,77	1,28
3	25	M7	6,69	0,94
3	30	M8	8,07	1,96
3	35	M9	6,68	0,18
3	40	M10	6,02	1,04
4	20	M11	6,12	0,62
4	25	M12	7,60	1,29
4	30	M13	7,90	0,94
4	35	M14	6,38	1,01
4	40	M15	9,12	1,63

Au cours de l'essai, nous avons relevé une amélioration importante du comportement du matériau renforcé par des fibres par rapport au témoin sans renfort. Plus la teneur en fibres augmente, plus la ductilité du matériau est prononcée [3]. En effet, les augmentations de la déformation du matériau et du module de rupture dans la phase post-cracking entraînent une amélioration de la ténacité.

3.2 Analyse des images de MEB

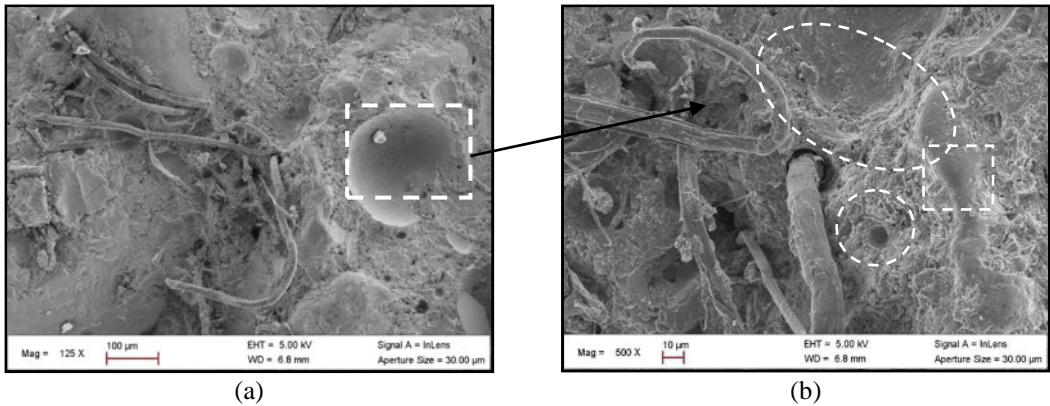


Fig. 7. Images de MEB de la formulation F9, grossissement à gauche (a) 125x et à droite (b) 500x.

Dans la figure 7(a), nous pouvons observer que malgré une forte teneur en fibres (3%) de la formulation F9, elles ne se dispersent pas uniformément dans la matrice caractérisée par une faible maniabilité [3]. En dépit de la faible dispersion, sa résistance est encore la plus élevée parmi les formulations sans adjuvants (dénommées F). Cela peut-être expliqué par la théorie de probabilité si on accepte les hypothèses suivantes : (i) la teneur en fibres est dans la gamme qui permet une bonne dispersion ($< 4\%$ dans cette étude), c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'agglomération de fibres; (ii) le degré de dispersion des fibres ne dépend que de la teneur en fibres. Donc, si celle-ci augmente, la probabilité de présence de fibres dans les zones soumises aux contraintes à la traction augmentera également jusqu'à un seuil critique correspondant à l'optimum. Cela provoque une augmentation de la résistance à la traction.

Dans la figure 7(b), trois phénomènes sont observés: (i) le déchaussement des fibres ; (ii) la rupture des fibres et (iii) l'extraction des fibres de la matrice. Etant hydrophiles, les fibres de lin absorbent de l'eau et gonflent au cours du mélange. Lors du moulage, les fibres commencent à relarguer l'eau ce qui entraîne leur retrait jusqu'au séchage. Ce processus conduit au déchaussement des fibres qu'on peut observer clairement sur la figure 7b. Ce phénomène réduit l'adhérence entre les fibres et la matrice. Concernant les fibres qui se sont détachées de la matrice (figure 7), elles sont le résultat d'une rupture (ii) ou d'une extraction (iii). Les fibres dispersées dans la matrice jouent le rôle d'un pont de liaison lors de la fissuration. Dans le cas (ii), au cours de l'essai, si la contrainte à la traction dépasse la résistance d'une fibre, celle-ci atteint sa limite critique et se casse. Par contre, si sa résistance est supérieure à la contrainte en traction et à l'adhésion fibre/matrice, la fibre sera arrachée de la matrice (iii). Dans la figure 7b, nous pouvons observer des fibres arrachées avec une réduction de la section d'extrémité et également une cavité formée par un arrachement d'une fibre.

4 Conclusions

- (1) Il existe des optima de teneur en fibres et de la longueur de fibres pour chaque type de fibres. Les optima pour le lin sont de 3 à 4% et 30 mm, respectivement. Ces valeurs peuvent varier selon la variété du lin.
- (2) Le comportement du mortier renforcé par des fibres est plus ductile que celui du matériau sans renfort. Une augmentation de la ténacité est également constatée dans certains cas.
- (3) L'ajout d'adjuvant « super-plastifiant » dans la matrice peut améliorer la résistance à la traction indirecte en augmentant le degré de dispersion des fibres.

(4) Les images de MEB donnent une vue concrète du rôle des fibres dans le matériau. Les cycles d'absorption/rejet d'eau par les fibres entraînent un phénomène de déchaussement qui peut réduire l'adhérence fibres/matrice.

(5) La rupture et l'extraction des fibres sont des phénomènes indispensables liés à l'incorporation des fibres dans le matériau. Elles participent également à l'efficacité des fibres courtes discontinues dans le matériau.

Remerciements

Nous voudrions exprimer nos remerciements sincères au Groupe Depeslete (teillage Vandecandelaère à Bourguébus) pour la fourniture des fibres de lin. Nous voudrions également adresser notre profonde reconnaissance à Monsieur François-Xavier LEFEVRE, ingénieur d'études CNRS pour les analyses au MEB.

Références

1. ACI Committee 544, "Report on Fiber Reinforced Concrete ACI 544 -1R.96 (Reapproved 2009)," in Report of American concrete institute, 64p.
2. M. A. Aziz, P. Paramasivam and S. L. Lee, "Prospects for natural fibre reinforced concretes in construction," in The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Volume 3, Number 2, 1981.
3. Goyhennetche consultants – MOV'EO – MIRIADE, "Etude prospective de la valorisation du lin par l'industrie automobile".
4. Tung L. H., Khadraoui F., Boutouil M. and Gomina M. "Mechanical properties of flax fibre reinforced cement composites", in Proceedings of ICTACE 2011, India, 250-255.
5. AFNOR Standard NF EN 197-1, "Cement - Part 1 : composition, specifications and conformity criteria for common cements," 2004.
6. AFNOR Standard XP P18-545, "Aggregates - defining elements, conformity an coding," 2008.
7. AFNOR Standard NF EN 196-1, "Méthodes d'essais des ciments, Partie 1 : Détermination des résistances mécaniques," 1995.