
Mortier de fibres de lin : applications possibles et caractérisation

Jurkiewicz B.^{1*}, Si Larbi A.¹, Hamelin P.¹

¹ Université de Lyon, Université Lyon 1, INSA-Lyon, LGCIE, 82 boulevard Niels Bohr, F-69622 Villeurbanne cedex, France,

* bruno.jurkiewicz@univ-lyon1.fr

RESUME. Nous présentons les résultats d'une étude sur des mortiers renforcés de fibres de lin. Une brève étude bibliographique montre notamment que le lin en tant que renfort a fait l'objet de peu de travaux malgré une disponibilité importante, un coût peu élevé et de bonnes propriétés spécifiques.

Nous montrons ensuite que, du point de vue de la mise en œuvre et du comportement mécanique, les conditionnements de la fibre de lin sous forme de fibres courtes ou de grilles apparaissent comme les plus adaptés à une utilisation industrielle. Les différents composites réalisés sont caractérisés en flexion. Il en ressort que les fibres courtes améliorent sensiblement le comportement post-pic alors que les grilles confèrent une réelle ductilité au composite. De plus, le pourcentage en masse optimal des fibres courtes est à ce jour, sans traitement préalable des fibres, voisin de 1. Pour ce taux de renfort, le rapport E/C doit être compris entre 0.38 et 0.50 pour un rapport S/C variant entre 1 et 2. Finalement, nous démontrons alors la faisabilité en laboratoire d'applications possibles, avec des fibres courtes et des grilles, comme la réalisation de regards, de panneaux sandwichs ou de renforts de murs en briques.

ABSTRACT. A study on flax fibers as reinforcement for cement-based composites is presented. Brief bibliographic review first shows that flax fibers may be efficient reinforcements as their mechanical properties and costs are high and similar respectively compared to those of the synthetic fibers. In the second part of the paper, several composites are cast and tested by means of bending scheme. Short fibers with premixing and fabrics laying onto a mould could be compatible with industrial processes. Short fibers improve the behaviour of the cement matrix by reducing the loss of load after the pick strength. Fabrics allow high ductility and increase the strength of the matrix. The results finally show that, within the fibers mass ratio reached in this study (below that 2 %), the optimal sand / cement ratio and water / cement ratio may be chosen within [1-2] and [0.38-0.50] respectively.

Mots-Clés : Composite ciment – Renforts par fibres – Lin – Propriétés mécaniques – Applications industrielles.

Keywords: Cement composite – Fibre reinforcement – Flax – Mechanical properties – Industrial applications.

1. Introduction

Les fibres végétales sont utilisées par l'Homme depuis très longtemps pour différents usages et pour la construction en particulier. Dans le cadre actuel omniprésent du développement durable, leur utilisation va très probablement croître et ce pour plusieurs raisons (Bledski *et al.*, 1999, Swamy, 1988, Rowell, 2002) : les fibres végétales constituent une ressource renouvelable et biodégradable, elles fixent le carbone, leur production ne nécessite pas une haute technologie et peut avoir lieu dans les pays en voie de développement. Par ailleurs, si l'on tient compte du transport, leur prix est généralement équivalent à celui des fibres artificielles.

Les principaux freins à leur développement sont également bien connus : les fibres végétales présentent des propriétés physiques qui varient de façon importante et des défauts naturels ce qui complique leur emploi dans un processus industriel de construction d'autant plus qu'à ce jour, à notre connaissance, aucune classification n'existe comme celle que l'on peut trouver pour le bois. De plus, les fibres végétales sont un produit de la Nature et sont donc très sensibles aux dégradations chimiques. Le maintien de leur performance sur une longue période correspondant aux exigences en matière de construction n'est à ce jour pas clairement établi.

Sur le plan du comportement mécanique, les fibres végétales présentent de bonnes propriétés qui, rapportées à leur masse volumique, sont au moins aussi bonnes que celles des fibres de verre par exemple (Tableau 1). Les fibres végétales sont associées depuis plusieurs années à des matrices organiques pour former des biocomposites (voir par exemple Nabi-Saheb *et al.*, 1999, Baley, 2004) et des produits sont même déjà disponibles sur le marché (escaliers, équipements automobiles...).

Les fibres végétales peuvent aussi être associées à des matrices minérales de façon avantageuse comme cela a pu être fait avec le bambou, le sisal, l'eucalyptus, la banane ou la canne à sucre (Coutts, 1995, Savastano *et al.*, 2000, Savastano *et al.*, 2003). L'utilisation des fibres de lin comme renforts de matrices cimentaires semble beaucoup moins étudiée bien que ces fibres soient parmi les plus disponibles à travers le monde et qu'elles présentent de bonnes performances mécaniques par rapport à celles des autres fibres végétales (Tableau 1). Une des premières études publiées dans la littérature est celle de Coutts en 1983 (Coutts, 1983). Il y compare la résistance et le degré de fissuration dans le cas des fibres courtes avec celles obtenues avec des fibres d'amiante. Il a également étudié différents prétraitements des fibres avant introduction dans la matrice. Plus récemment, Fernandez (Fernandez, 2002) a montré le bon potentiel de ces fibres pour des applications architecturales mais a souligné le caractère hydrophile des fibres de lin qui s'avère être une difficulté pour un processus de fabrication humide. Deux autres études concernant le lin dans une matrice minérale peuvent également être citées : Langlet *et al.*, 2007 a étudié comment utiliser des déchets de lin sous forme de fines particules dans du béton léger et Boghossian *et al.*, 2008 a montré que la fissuration

pouvait être réduite de façon significative avec de très petites quantités de fibres courtes de lin.

Les travaux présentés ci-après ont pour objectif de compléter les connaissances actuelles sur les composites à matrices minérales associées à des fibres de lin. Les fibres sont utilisées sous forme de fibres courtes mais également sous forme de fibres longues ou de grilles. Nous montrons dans un premier temps les propriétés de mise en œuvre ainsi que le comportement mécanique en flexion selon la forme des fibres. La seconde partie de l'article est dédiée aux applications industrielles potentielles : nous cherchons ici à démontrer la faisabilité et le cas échéant à souligner les points à améliorer.

Fibre	Densité	Allongement à rupture	Résistance en traction	Module d'Young	Absorption d'eau	Prix en 2002
	[g / cm ³]	[%]	[MPa]	[GPa]	[%]	[euro / kg]
Coton	1.5	7.0-8.0	287-597	5.5-12.6	8-25	-
Jute	1.3	1.5-1.8	393-773	10-30	12	0.27
Lin	1.5	2.7-3.2	345-1035	28-80	7	0.56-0.61
Chanvre	1.4	1.6	550-900	35-70	8	0.60-1.30
Sisal	1.5	2.0-2.5	511-635	9.4-38.0	11	0.31
Coco	1.2	30	175-220	4.0-6.0	10	0.23-0.80
Verre E	2.5	2.5	2000-3500	70	0	1.5
Verre S	2.5	2.8	4570	86	0	1.5
Aramide	1.4	3.3-3.7	3000-3150	63.0-67.0	-	-
Carbone	1.4	1.4-1.8	4000	230.0-240.0	-	30

Tableau 1. Propriétés de fibres végétales et synthétiques

2. Etude préliminaire sur la mise en œuvre et le comportement mécanique

L'objectif de cette phase est de dégager les principales tendances afin de mieux cibler les travaux à effectuer ultérieurement. Pour cela, nous avons opté pour un large éventail de paramètres à tester tant sur le plan de la mise en œuvre que des constituants. Nous présentons ci-après les principaux résultats.

2.1. Les constituants

Les fibres de lin ont été utilisées sous différents conditionnements :

- étoupe dont ont été extraites des fibres courtes et des fibres longues d'environ 10 à 20 mm de long et de 50 à 150 mm de long respectivement,
- fibres courtes de 6 mm de long environ (la section transversale de la fibre est de forme variable et d'un diamètre variant de 0.2 à 1.5 mm),

- grille de maille $5 \times 5 \text{ mm}^2$ et de $84 \text{ g} / \text{m}^2$ (le diamètre des fibres est de 1 mm dans une direction et de 0.3 mm dans l'autre).

Concernant la matrice, deux types de ciment sont utilisés : CEM II/B 32,5 N et CEM III/C 32,5 N. Ce dernier ciment de laitier au clinker contenant au plus 20 % de clinker est réputé moins agressif pour les fibres végétales.

Pour toutes les formulations, un sable roulé 0/5 mm constitue le squelette granulaire. Il est à noter qu'un mortier prêt à l'emploi (PREMIX) LANKOREP 734 et un superplastifiant haut réducteur d'eau ont également été utilisés. L'ensemble des gâchées réalisées est présenté dans le tableau 2.

2.2. Mise en œuvre et dispositif expérimental

Le procédé de mise en œuvre dépend du conditionnement des fibres et des applications industrielles visées. Dans cette étude, nous avons retenu 2 voies :

- voie 1 « malaxage » : mise en œuvre de l'ensemble des constituants dans un malaxeur et vidage dans le coffrage. Ce mode est adapté au cas des fibres courtes. Plusieurs ordres d'introduction des différents constituants ont été testés.

- voie 2 « moulage au contact » : mise en œuvre de la matrice non fibrée dans un malaxeur, mise en place des fibres dans le coffrage et mise en place de la matrice dans le coffrage. Ce mode est adapté au cas des fibres longues et des grilles.

Des plaques de mortier (fibré ou pas) de $10 \times 200 \times 500 \text{ mm}^3$ environ ont d'abord été réalisées puis démoulées 48 h après le bétonnage. 19 jours plus tard, dans les plaques ont été découpées à la scie au diamant sous eau des éprouvettes prismatiques de $10 \times 40 \times 200 \text{ mm}^3$ environ. Les plaques et éprouvettes sont conservées à l'air ambiant du laboratoire. Chaque configuration comprend de 2 à 6 éprouvettes identiques.

Les éprouvettes sont testées en flexion 4 points à 28 jours selon les recommandations du RILEM TECHNICAL COMMITTEE 49 TFR 1984 avec une presse de traction universelle. Le chargement a été effectué avec une vitesse de déplacement du vérin de 1 à 3 mm / minute selon les cas jusqu'à rupture. Durant l'essai, seuls la force et le déplacement du vérin ont été mesurés.

2.3. Résultats et bilan de la phase préliminaire

2.3.1. Sur le plan de la mise en œuvre

Sur le plan de la mise en œuvre, le malaxage est possible jusqu'à des longueurs de fibres de l'ordre de 20 mm. Au-delà, les fibres s'enchevêtrent les unes dans les autres rendant impossible la mise en œuvre : il faut alors procéder par moulage au contact.

Mortier de fibres de lin : applications et caractérisation

Le caractère hydrophile des fibres rend indispensable l'emploi d'un superplastifiant. De plus, sans traitement préalable des fibres de lin, un pourcentage massique de fibres courtes supérieur à 1 % requiert un surdosage en eau et / ou en adjuvant néfaste au comportement mécanique.

En revanche, toujours dans le cas des fibres courtes, l'ordre d'introduction des différents ingrédients n'a pas d'effet significatif. De même, la préhumidification des fibres dans un bain d'eau n'améliore pas de façon notable la mise en œuvre et peut même au contraire s'avérer néfaste si les fibres ne sont pas correctement séparées. La préhumidification dans l'eau de gâchage est en revanche à proscrire car une grande partie est absorbée par les fibres

Dans le cas du moulage au contact, même si la réalisation de la matrice est indépendante des fibres et donc de leur caractère hydrophile, la mise en œuvre requiert un marouflage important et l'emploi systématique d'un superplastifiant si l'on souhaite obtenir une bonne imprégnation des fibres longues ou des grilles. Elle induit également une incertitude quant au positionnement exact des différentes couches au sein de la matrice. Dans le cas des fibres longues, la mise en œuvre manuelle est longue et paraît difficile à industrialiser. En revanche, le conditionnement des fibres sous forme de grille apparaît la solution la plus prometteuse si les dimensions des mailles et la densité des renforts sont adaptées aux besoins spécifiques (résistance, géométrie) des produits réalisés.

N° gâchée	Type liant	S/C	E/C	Adj. ⁽¹⁾	Fibres			Type de mise en œuvre ⁽²⁾	Résistance (MPa)	
					Nature	Conditionnement fibres	% en masse		Moy.	Ecart-type
1	Premix	inconnu	0.23	0	-	-	0	Malaxage M0	5.6	0.1
2	Premix	inconnu	0.23	0	Lin	Fibres courtes L = 10 à 20 mm	0.5	Malaxage M0	8.3	0.3
3	Premix	inconnu	0.23	0	Lin	Fibres courtes L = 10 à 20 mm	1.0	Malaxage M0	11.2	3.0
4	CEM II / B 32.5 N	2.0	0.50	4	-	-	0	Malaxage M1	3.4	0.7
5	CEM II / B 32.5 N	2.0	0.50	2.3	Lin	Fibres courtes L = 6 mm	1.0	Malaxage M1	3.4	0.4
6	CEM II / B 32.5 N	2.0	0.38	4.6	Lin	Fibres courtes L = 6 mm	1.0	Malaxage M2	1.2	0.3
7	CEM II / B 32.5 N	2.0	0.38	2.3	Lin	Fibres courtes L = 6 mm	1.0	Malaxage M1	4.0	0.2
8	CEM II / B 32.5 N	2.0	0.50	2.3	Lin	Fibres courtes L = 6 mm	1.0	Malaxage M3	2.3	0.5
9	Premix	inconnu	0.23	2.3	Lin	Fibres longues L = 50 à 150 mm	3.4	Moulage	12.6	1.0
10	CEM II / B 32.5 N	0	0.30	0	Lin	Fibres longues L = 50 à 150 mm	1.5	Moulage	6.4	1.1
11	CEM II / B 32.5 N	2.0	0.38	2.3	Lin	Grille	1.0	Moulage	5.2	0.6
12	CEM II / B 32.5 N	2.0	0.38	2.3	Lin	Grille	0.5	Moulage	4.1	0.5
13	CEM II / B 32.5 N	2.0	0.38	2.3	Lin	Grille	0.75	Moulage	5.5	0.4
14	CEM II / B 32.5 N	2.0	0.38	2.3	Lin	Grille	0.5	Moulage	2.6	0.3
15	CEM III / C 32.5 N	2.0	0.38	2.3	Lin	Grille	1.0	Moulage	7.0	0.9
16	CEM III / C 32.5 N	2.0	0.38	2.3	Lin	Grille	0.8	Moulage	4.2	0.6

⁽¹⁾ Exprimé en litre pour 100 kg de liant

⁽²⁾ M0 : Premix, fibres - M1 : S + C, E + adj. , fibres - M2 : S+C, E + fibres, adj. - M3 : C + fibres, S, E + adj.

Tableau 2. Les gâchées réalisées et leur résistance en flexion 4 points

2.3.2. Sur le plan du comportement mécanique en flexion

Les fibres modifient le comportement élastique fragile de la matrice seule de différente manière selon la matrice et la forme des fibres (tableau 2 et figure 1) :

- Fibres courtes : elles améliorent le comportement post-pic et diminuent de façon plus ou moins importante la vitesse de chute de la résistance. Elles ne modifient pas le mode de fissuration ne permettant ainsi pas, pour ce pourcentage de fibres, la création et l'ouverture d'une deuxième fissure. Elles augmentent la résistance de la matrice seule de façon plus ou moins importante selon la nature de la matrice et le dosage des fibres (par exemple de 17 % et de 100 % pour les gâchées n°7 et n°3 respectivement).

- Fibres longues : elles augmentent de façon importante la résistance et, globalement, elles induisent un comportement non linéaire très différent de celui de la matrice seule et une multifissuration peu marquée, avec ou sans ductilité. Ces petites variations dans le comportement post-pic pourraient être dues à de petites variations lors de la mise en œuvre (puisque les fibres longues ont été positionnées manuellement).

- Grilles : elles induisent systématiquement un comportement non linéaire du composite avec une multifissuration très marquée associée à une réserve de ductilité plus ou moins grande. La résistance est toujours augmentée et les performances sont, à pourcentage massique de fibres égal, les plus élevées. Par ailleurs, les résultats d'essais montrent que l'utilisation d'un ciment au laitier (CEM III), moins agressif pour les fibres végétales, ne diminue ni la résistance instantanée ni la ductilité du composite : si son intérêt à long terme est démontré, il peut donc très avantageusement se substituer au ciment portland à haute teneur en clinker.

L'efficacité des fibres tient en grande partie à leur forme même. Dans le cas des fibres courtes, la transmission des efforts entre les renforts et la matrice dépend de l'adhérence fibre / matrice et de la microstructure de la zone de transition interfaciale (ZTI) c'est-à-dire de la zone de matrice à proximité immédiate des fibres. Elle est donc fortement liée aux propriétés géométriques des fibres (rapport longueur / diamètre par exemple) qui est extrêmement variable dans le cas des fibres de lin dont la calibration est encore de très mauvaise qualité.

Dans le cas des fibres longues ou des grilles, la continuité des renforts permet une meilleure utilisation de la matrice avec un contrôle plus important de la fissuration sous réserve que les fibres soient correctement imprégnées. La transmission des efforts entre les fibres et la matrice s'apparente à celle qui se développe, à une autre échelle, dans les pièces en béton armé : elle est régulière et efficace et semble même encore améliorée par la présence des fibres perpendiculaires à l'axe principal de sollicitation comme dans le cas des grilles. En effet, les mailles de la grille amènent un effet de structure en piégeant la matrice améliorant ainsi l'interaction grille / matrice. De plus, la grille est moins sensible aux variations des caractéristiques de la matrice, du fait de la continuité des renforts, induisant ainsi une efficacité accrue par rapport aux fibres courtes.

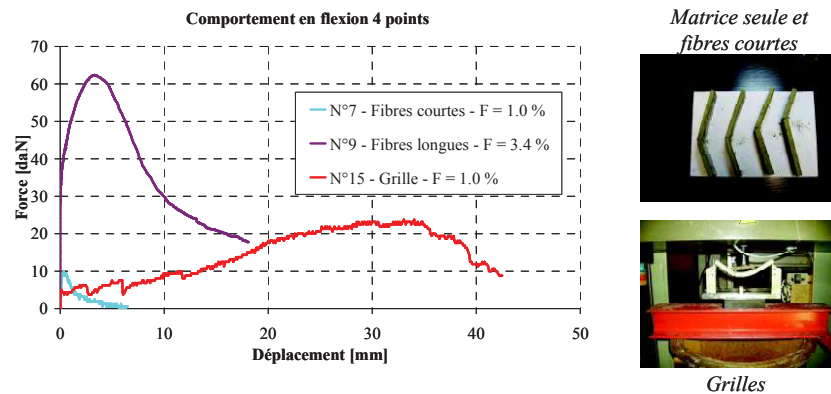


Figure 1. Les types de comportement et modes de fissuration

Les résultats confirment également que la résistance du composite augmente avec la densité des renforts. Dans le cas des fibres courtes, le dosage en eau apparaît comme un paramètre clé compte tenu du caractère hydrophile des fibres. Les résultats montrent qu'un rapport E/C compris entre 0.38 et 0.50 semble être adapté : en dehors de ce domaine, la résistance mécanique de la matrice diminue ou l'ouvrabilité est insuffisante.

3. Applications industrielles potentielles

Nous présentons ci-après trois exemples d'utilisation des fibres de lin comme renfort, réalisés dans notre laboratoire, et qui se veulent être une démonstration de faisabilité.

3.1. Regards d'eau pluviale

Les CCV sont très souvent utilisés pour la réalisation de pièces préfabriquées à destination des VRD. La première application retenue a donc été un regard d'eau pluviale dont la géométrie et le moule sont présentés sur la figure 2. Quatre regards ont été confectionnés avec quatre composites différents : un avec un CCV du commerce (constituant la référence) et les trois autres avec une matrice minérale associant les fibres courtes de lin ou la grille. Les compositions retenues sont proches de celles présentées dans le paragraphe précédent.

Globalement, on peut conclure que la mise en œuvre est satisfaisante, aussi bien dans le cas des fibres de verre que dans le cas des fibres de lin. Toutefois, concernant ces dernières, la phase de confection peut être optimisée : le caractère autoplaçant de la matrice est indispensable pour ce type de pièce du fait notamment de la faible épaisseur des parois. De plus, dans le cas des grilles, la maille est ici trop petite ce qui peut affecter la qualité de surface notamment dans les zones de forte

densité de renfort. La taille de la maille peut et doit être adaptée à la forme du produit réalisé et à la granulométrie de la matrice. Les pièces réalisées sont finalement présentées sur la figure 2. On peut constater que leur état de surface est tout à fait comparable, y compris dans les zones de raccordement. Ainsi, du point de vue de la qualité esthétique, l'emploi des fibres de lin, sous forme de fibres courtes ou de grille, permet d'atteindre un même niveau d'exigence que le CCV.

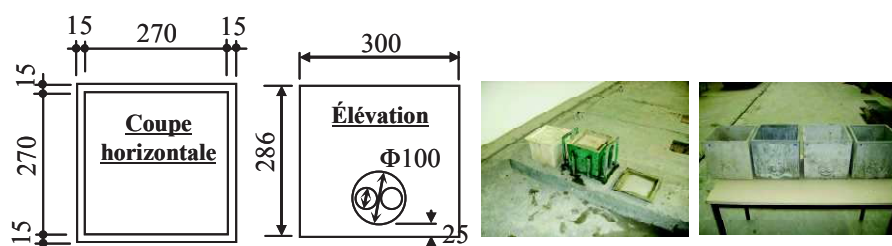


Figure 2. Regards d'eau pluviale (côtes en mm)

3.2. Panneau sandwich

Une seconde utilisation envisagée est l'association par collage de plaques préfabriquées en mortier de lin avec un complexe isolant pour former des panneaux sandwichs à destination des bâtiments d'habitation ou industriels. Par souci de réalisme, la composition et le dimensionnement du panneau sandwich ont été conçus selon les usages et la réglementation en vigueur, en prenant en compte les exigences de résistance (flexion, tenue aux chocs) et d'isolation thermique. Un seul panneau a été confectionné et les deux plaques sont constituées de fibres courtes de lin noyées dans la matrice de la gâchée n° 7 (figure 3).

La réalisation des plaques et la construction du panneau n'ont posé aucun problème. Il peut simplement être noté une consommation un peu excessive de colle qui pourra être réduite en optimisant la phase d'assemblage voire en bétonnant directement sur l'isolant sous réserve que la connexion des deux matériaux soit correctement assurée

3.3. Enduit pour murs en maçonnerie de terre crue

L'emploi de la terre crue dans les pays en voie de développement est très courant et son association avec un enduit fibré pourrait lui conférer une résistance et une durabilité accrue. Un petit mur de $88 \times 83 \times 12 \text{ cm}^3$ a été ainsi monté puis enduit sur les deux faces avec un mortier fibré type gâchée 7. Les éléments de maçonnerie sont des briques de terre crue légère ADOBE CLAYTEC 07.011 de $25 \times 12 \times 7.3 \text{ cm}^3$ et le mortier d'assemblage un mortier d'argile LEHM-UNTERPUTZ 10.010

CLAYTEC. La figure 3 fournit illustre la réalisation. Il est à noter que, là encore, la réalisation du mur et de l'enduit n'ont posé aucune difficulté. Toutefois, la composition de la matrice de l'enduit devrait être optimisée afin d'améliorer son adhérence sur parement vertical au moment de la mise en œuvre.

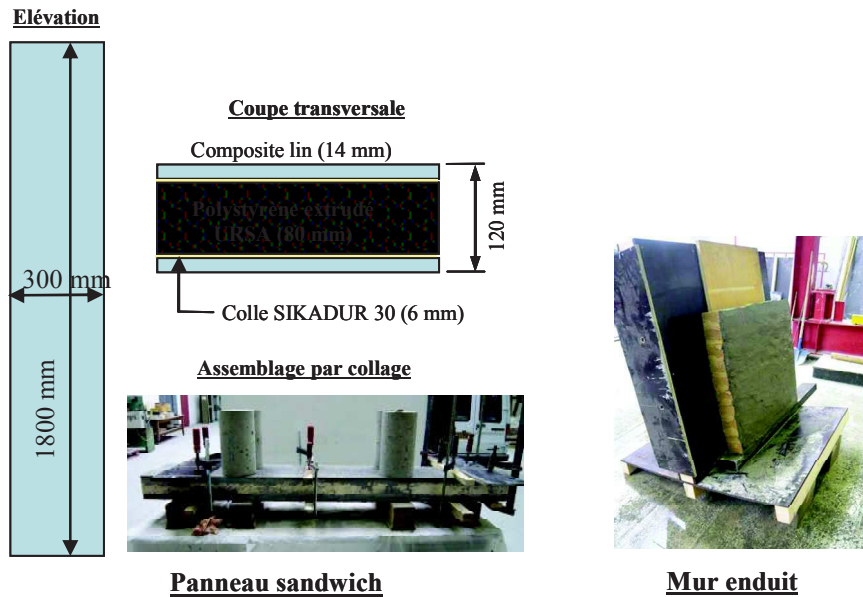


Figure 3. Panneau sandwich et mur enduit

4. Conclusion

Cette étude porte sur les composites à matrices minérales et fibres de lin. Différents conditionnements des fibres et plusieurs compositions pour la matrice ont été étudiés. Ces travaux montrent les principales propriétés mécaniques obtenues en flexion ainsi que les applications industrielles potentielles.

Sur le plan de la mise en œuvre, il ressort de cette étude que les fibres de lin peuvent être utilisées soit sous forme de fibres courtes inférieures à 20 mm par malaxage soit sous forme de grilles pour un moulage au contact. Un superplastifiant doit être systématiquement employé pour réduire les effets néfastes du caractère hydrophile des fibres. Le conditionnement sous forme de fibres longues individualisées n'est pas compatible avec un processus industriel.

Du point de vue du comportement mécanique, les fibres courtes améliorent le comportement post-pic de la matrice seule en ralentissant la chute de contrainte et

augmentent légèrement la résistance pour un dosage voisin de 1% en masse. Les grilles s'avèrent en revanche plus efficaces. Elles induisent en effet un comportement non linéaire avec une multifissuration très marquée et une réserve de ductilité plus ou moins importante. Par ailleurs, même si la campagne ne permet pas de définir de façon complète le rôle et le dosage optimal des différents constituants, il ressort que le rapport E/C doit être compris entre 0.38 et 0.50 pour un rapport S/C variant entre 1 et 2.

Ces composites ont été utilisés, avec fibres courtes ou grilles, pour réaliser des regards d'eau pluviale, un panneau sandwich et des enduits pour mur en maçonnerie de terre crue. Pour ces trois applications industrielles potentielles, la faisabilité est démontrée même si certains points doivent être améliorés.

Remerciements

Nous souhaitons remercier la région Rhône Alpes pour son soutien financier.

5. Bibliographie

- Bledski A.K., Gassan J., « Composites reinforced with cellulose based fibers », *Progress in Polymer Science* 1999;24:221-274.
- Swamy R.N., *Natural fiber reinforced cement and concrete*, Blackie and Son Ltd, 1988.
- Rowell R.M., « Sustainable composites from natural resources », *High Performance Structures and Composites*, 2002, p. 194-207.
- Nabi-Saheb D., Jog J.P., « Natural fiber polymer composites : a review », *Advances in Polymer Technology*, 1999, vol. 18, n° 4, p. 351-363.
- Baley C., « Fibres naturelles de renforts pour matériaux composites », *Techniques de l'ingénieur*, 2004, AM5 130.
- Coutts R.S.P., « Autoclaved bamboo pulp fibre reinforced cement », *Cement and concrete composite*, 1995, n°17, p. 99-106.
- Savastano H., Warden P.G., Coutts R.S.P., « Brazilian waste fibres as reinforcement for cement-based composites », *Cement and Concrete Composites*, 2000, n°22, p. 379-384.
- Savastano H., Warden P.G., Coutts R.S.P., « Mechanically pulped sisal as reinforcement in cementitious matrices », *Cement and Concrete Composites*, 2003, n° 25, p. 311-319.
- Coutts R.S.P., « Flax fibres as a reinforcement in cement mortars », *The international Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, 1983, vol. 5, n° 4, p. 257-262.
- Fernandez J.E., « Flax fiber reinforced concrete – a natural fiber biocomposite for sustainable building materials », *High Performance Structures and Composites*, 2002, p. 194-207.
- Langlet T., Aamr-Daya E., Benazzouk A., Dheilily R.M., Queneudec M., « The suitability of utilising flax by-product material for lightweight cement composites », *Construction and Building Materials*, mai 2007.
- Boghossian E., Wegner L.D., « Use of flax fibres to reduce plastic shrinkage cracking in concrete », *Cement and Concrete Composites*, 2008, n°30, p. 929-937.