

Comportement mécanique et durabilité des fils de lin exposés à l'environnement alcalin d'une matrice ettringitique

Mirna Zaydan¹, Marie Michel¹, Carmelo Caggegi¹, Laurence Curtil¹

¹ Université de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, LMC2-EA7427, F-69622 Villeurbanne, France

RESUME L'utilisation des matériaux composites à matrice minérale (TRM - Textile Reinforced Mortar) pour le renforcement et la réhabilitation des ouvrages historiques en maçonnerie ou les structures en béton armé est une méthode très efficace. Afin de réaliser une intervention éco-durable, nous proposons l'utilisation d'un TRM fabriqué à partir de textile de fibres naturelles et plus particulièrement de fibres de lin. Cet article étudie la durabilité des fils de lin utilisés pour la fabrication d'un TRM à matrice ettringitique. Pour étudier la durabilité de ces fils dans une matrice ettringitique, des fils de lin sont soumis à un vieillissement accéléré dans une solution de NaOH reproduisant le même pH que la matrice ettringitique (pH 10,5), à une température de 60°C. Les fils vieillissent pendant une durée de 7, 14, 28 et 42 jours sont ensuite soumis à l'essai de traction directe et les résultats sont comparés avec ceux des fils non vieillissés.

Mots-clefs durabilité, renforcement, TRM, fils de lin, matrice ettringitique

I. INTRODUCTION

Le TRM est un matériau composite constitué d'une matrice minérale et d'un textile de renfort. Les textiles sont fabriqués généralement à partir de fibres continues de carbone, verre, PBO, aramide, acier, ou basalte. Ils ont pour rôle d'assurer une bonne tenue mécanique du composite. La matrice minérale, fabriquée avec du mortier à base de ciment, de chaux, ou avec un géopolymère, a pour rôle d'assurer la cohésion du composite avec la structure et le transfert des efforts vers le textile (Caggegi et al. 2017). Actuellement, les préoccupations environnementales ont incité les industries de la construction et de la fabrication à rechercher des matériaux innovants, fiables, durables et pouvant remplacer les fibres synthétiques classiques (verre, carbone, ...) comme renforcement des matériaux de structure. Des efforts considérables ont été consacrés à l'utilisation de fibres naturelles comme renforcement des composites à matrice cimentaire, choix justifié pour les raisons suivantes : ces fibres présentent un faible coût, une faible densité, elles sont écoresponsables capturant lors de la croissance de la plante de grandes quantités de CO₂. En plus leurs cultures n'ont pas besoin d'irrigation ni d'OGM.

Cependant, malgré les avantages des fibres naturelles, leur utilisation dans les matériaux composites à matrice minérale est limitée par la résistance relativement faible à la dégradation dans les environnements alcalins (Ardanuy et al. 2015). Des études de durabilité des matériaux composites à matrice minérale et fibres naturelles sont donc nécessaires afin de caractériser leur comportement à long terme avant de les utiliser en réhabilitation des ouvrages.

L'objectif de ce travail est d'étudier la durabilité des fils de lin exposés à un vieillissement accéléré caractérisé par un environnement alcalin de pH 10,5 et une température de 60°C. Pour déterminer

l'influence du vieillissement accéléré sur les propriétés mécaniques des fils, ces derniers sont caractérisés par l'essai de traction directe avant et après 7, 14, 28 et 42 jours de vieillissement. Notons que cette étude s'inscrit dans une campagne expérimentale plus large en cours et prenant en compte d'autres types de fibres, dans différentes conditions de vieillissement naturel et accéléré, ainsi que le comportement des TRM associés.

II. PROGRAMME EXPERIMENTAL

A. Description des matériaux

Ce travail propose l'analyse de la durabilité d'un système de TRM caractérisé par un textile de lin incorporé dans une matrice à base de liant ettringitique. Les fils de lin utilisés dans cette étude sont fournis sous forme de bobines, ils sont constitués de plusieurs filaments assemblés l'un à côté de l'autre sans torsion, ni revêtement. La densité linéaire moyenne des fils, calculée selon la norme NF EN ISO 1889:2009, est égale à 1194 tex. La section transversale des fils est déterminée par tomographie à rayons X. Elle est égale à 0,861 mm² (CoV 0,24 %).

Le vieillissement des fils de lin est réalisé dans une solution de NaOH caractérisée par un pH 10,5, reproduisant l'environnement de la matrice ettringitique du TRM.

B. Préparation des éprouvettes et protocole expérimental

Pour évaluer leurs propriétés mécaniques, les fils de lin sont soumis à des essais de traction directe. Le tableau 1 contient le vieillissement lié aux 5 séries d'échantillons testés.

TABLEAU 1. Séries de test de traction directe

Séries	Durée de vieillissement (jours)	pH	Température (°C)
L-0j	0	10,5	60
L-7j	7		
L-14j	14		
L-28j	28		
L-42j	42		

Des fils de 9 mètres de long sont prélevés de la bobine et immergés dans des bacs contenant une solution de NaOH de pH 10,5. Ces derniers sont placés dans une enceinte climatique à une température de 60°C (Fig. 1.a). Après vieillissement de 7, 14, 28 et 42 jours, les fils sont mis ensuite à sécher entre deux clous fixés sur une planche de bois (Fig. 1.b).

Pour la série sans vieillissement (L-0j) et, après séchage pour les séries vieilles, six échantillons d'une longueur de 1 mètre ont été coupés et soumis à des essais de traction directe selon la norme ISO 2062: 2009 sur une machine Zwick/Roell de capacité 50 KN contrôlée en déplacement. Pour éviter la concentration de contrainte provoquant la rupture au niveau de la fixation du fil, un nouveau système de fixation a été développé (Fig. 1.c, d). Il consiste à enrouler le fil deux fois au milieu d'un cylindre horizontal ayant la forme d'un sablier pour faciliter le positionnement du fil en son milieu, et se superposant à l'axe de la tige (Fig. 1.d). Pour assurer l'alignement des fibres et les rendre suffisamment droites, une précharge de 6 N est appliquée sur les fils. La longueur libre du fil est de 250 mm et la vitesse de chargement est de 250 mm/min selon la norme.

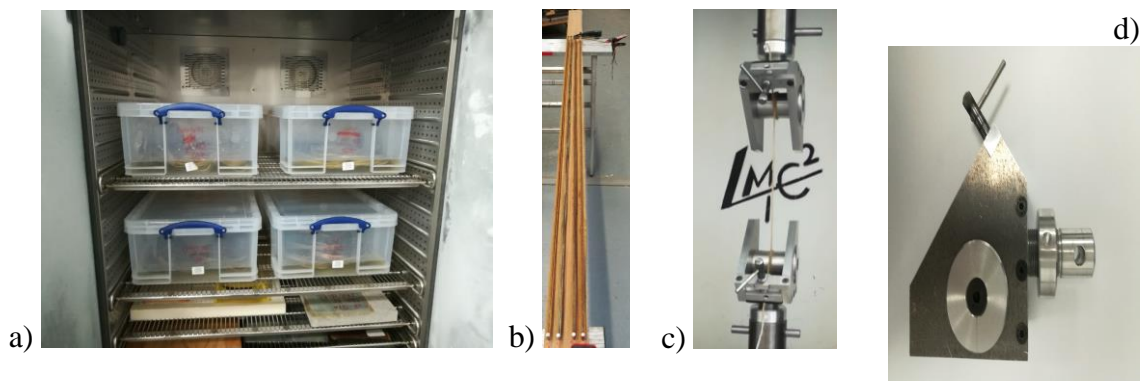


FIGURE 1. a) vieillissement des fils dans la solution de NaOH (pH 10,5 et T = 60 °C) ; b) séchage des fils ; c) dispositif d'essai de traction pour les fils ; d) détails du dispositif de fixation des fils

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les résultats en traction sont rapportés en termes de courbes contrainte-déformation ($\sigma - \varepsilon$) pour la série L-0j (Fig. 2), d'histogrammes représentant la résistance maximale à la traction σ_{max} et de module d'élasticité E en fonction du temps (Fig. 3.a, b). La contrainte σ est le rapport entre la charge de traction et la section transversale du fil. Le module élastique se réfère à la pente de la partie de la courbe contrainte-déformation située entre 70 % et 90 % de la contrainte maximale.

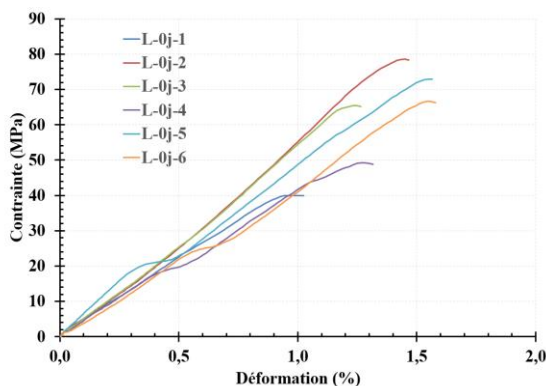


FIGURE 2. Courbes contrainte-déformation des fils de lin testés sans vieillissement (série L-0j)

On note (Fig. 2) que toutes les courbes sont constituées de deux branches : la première branche non linéaire, due au réalignement des simples filaments constituant chaque fil, cette branche n'est pas prise en compte pour la détermination du module d'Young ; la deuxième branche presque linéaire jusqu'à la rupture du fil.

La résistance à la traction des fils de lin diminue de 30% à 7 jours, puis est maintenue jusqu'à 42 jours (Fig. 3.a). La rigidité des fils augmente environ 8 fois après 7 jours puis diminue à nouveau de 30 à 40 % après 28 jours de vieillissement (Fig. 3.b). Ce phénomène peut être expliqué par le fait que l'immersion des fibres végétales dans un environnement alcalin pendant une courte période de temps peut augmenter leurs propriétés mécaniques. Ce processus est appelé mercerisation (Kalia et al. 2009). Cependant, il est prévu qu'un temps d'exposition plus long à un environnement alcalin endommagera complètement les fibres.

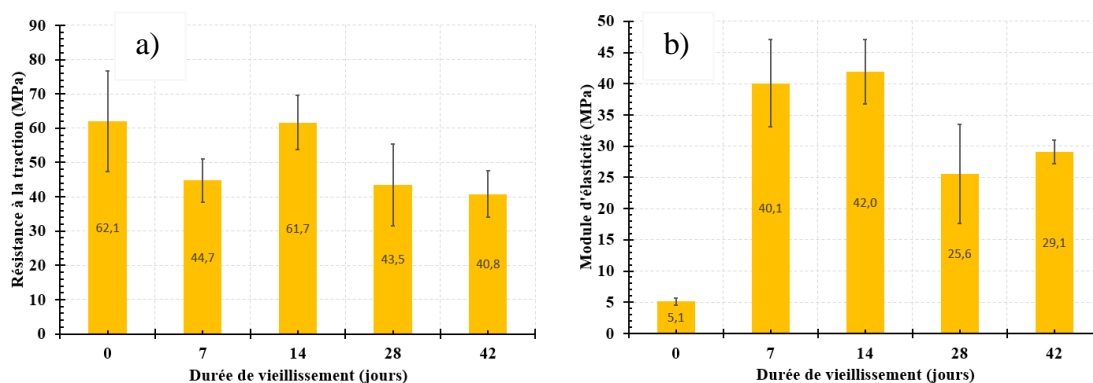


FIGURE 3. Evolution dans le temps de : a) la résistance à la traction ; b) et du module d'élasticité des fils après leur vieillissement en environnement alcalin.

IV. CONCLUSIONS

La durabilité des fils de lin dans un environnement alcalin a été étudiée. Les essais de traction menés sur les fils vieillis dans une solution caractérisée par un pH 10,5 et une température de 60°C pour différentes durées, ont montré que les fils de lin ont subi une perte de résistance de 30% après 7 jours avec un maintien de niveau de résistance jusqu'à 42 jours de vieillissement. De plus, l'immersion pendant 14 jours dans cette solution engendre une augmentation de 8 fois la rigidité des fils de lin. Par contre, au-delà de 14 jours cette rigidité commence à diminuer de nouveau jusqu'à atteindre une perte de 30% de sa valeur après une durée de vieillissement de 42 jours. Dans la suite de cette étude, les résultats liés au test de durabilité à 3 mois, 6 mois, 1 an et 2 ans, des fils et des TRM associés, compléteront les résultats présentés dans cet article.

V. REFERENCES

C. Caggegi, F. Giulia Carozzi, S. De Santis, F. Fabbrocino, F. Focacci, Ł. Hojdys, E. Lanoye, & L. Zuccarino. (2017) Experimental analysis on tensile and bond properties of PBO and aramid fabric reinforced cementitious matrix for strengthening masonry structures. *Composites Part B*, 127, 175-195. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.05.048>

M. Ardanuy, J. Claramunt, & R.D. Toledo Filho. (2015) Cellulosic fiber reinforced cement based composites: A review of recent research. *Construction and Building Materials*, 79, 115–128. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.035>

NF EN ISO 1889. Reinforcement yarns. Determination of linear density. 2009.

ISO 2062. Textiles - yarn from packages - determination of single-end breaking force and elongation at break using constant rate of extension (CRE) tester. International Organization for Standardization; 2009.

S. Kalia, B. S. Kaith, & I.Kaur. (2009) Pretreatments of natural fibers and their application as reinforcing material in polymer composites-A review. *Polymer Engineering & Science*, 49(7), 1253–1272. <https://doi.org/10.1002/pen.21328>