

# Réponse en traction d'un composite verre/matrice ettringitique : influence du procédé de pré-impregnation

Omayma Homoro<sup>1</sup>, Marie Michel<sup>1\*</sup>, Thouraya Baranger<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université de Lyon, Université Lyon 1, LMC2-EA7427, F-69622 Villeurbanne, France

\*Email: marie.michel@univ-lyon1.fr

**RESUME** Cet article présente une étude expérimentale du comportement en traction d'un composite textile-micro béton (TRC) innovant. En général, les fils utilisés dans les textiles sont des fils multi-filamentaires composés de centaines de filaments de faible diamètre. L'utilisation de fils multi-filamentaires avec du ciment est difficile car la pénétration des particules de ciment reste limitée aux filaments externes, ce qui rend faible l'adhérence fil/matrice et par conséquent la performance mécanique du composite. Une solution pour améliorer cette adhérence est de pré-impregner les tissus par voie humide avec des poudres minérales ou organiques. Dans cette étude, une autre solution est choisie : pré-impregner les tissus par voie sèche en appliquant un champ électrostatique alternatif qui autorise la pénétration de la poudre au sein du renfort. Le principal avantage de cette solution innovante est la possibilité de réaliser des éléments de construction de grande taille in situ en assurant une distribution homogène et contrôlée des poudres dans le textile. L'objectif de ce travail est de comparer ces deux méthodes de pré-impregnation afin d'identifier les propriétés en traction des TRC et mettre en évidence l'efficacité du processus de pré-impregnation. 5 types d'échantillons ont été testés selon 3 configurations : fil sec (S), fil pré-impregné par voie humide (PH) et par voie sèche (PS).

**Mots-clefs** traction, tissus en fibres de verre, matrice ettringitique, pré-impregnation

## I. INTRODUCTION

Le composite textile-micro béton (TRC) est un matériau composite constitué d'une matrice cimentaire à granulométrie fine et de textiles. Les tissus utilisés dans l'application des TRC sont généralement constitués de fils multi-filamentaires composés de centaines de filaments. Or les grains de ciment, de taille supérieure à l'espace inter-filamentaire, ne peuvent pas pénétrer dans les espaces entre les filaments. Pour obtenir un composite aux performances supérieures, il est nécessaire d'assurer un transfert efficace des contraintes entre la matrice cimentaire et les filaments internes en remplissant l'espace entre les filaments du faisceau. Ainsi deux solutions existent : la pré-impregnation des faisceaux par voie humide ou par voie sèche avec des poudres minérales. La première de ces deux méthodes a déjà été appliquée et a donné de bons résultats (Dvorkin 2016 ; Bentur et al 2013) mais elle est longue, difficile et adaptée uniquement en préfabrication d'éléments simples. La solution alternative proposée dans cet article consiste à pré-impregner les tissus de manière sèche en utilisant un champ électrostatique alternatif qui permet une distribution homogène et contrôlée des poudres dans le textile (Caramaro, 2016).

L'objectif de ce travail est d'étudier l'influence de la pré-impregnation sur le comportement en traction des composites à matrice ettringitique renforcée de textile de verre. Trois composites constitués d'une matrice et de trois textiles différents, et selon trois configurations, sont comparés : un fil sec (S), un fil pré-impregné par voie humide (PH) avec de la matrice et un fil pré-impregné par voie sèche (PS) par un liant ettringitique.

## II. PROGRAMME EXPERIMENTAL

### A. Description des matériaux

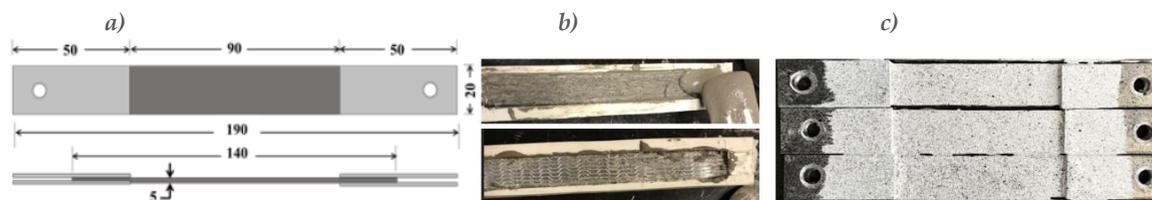
Les trois tissus utilisés dans cette étude sont des tissus de verre E unidirectionnels. Ils sont désignés selon leur poids surfaciques ( $\text{g/m}^2$ ) : 236, 440 et 600 et leurs caractéristiques sont données dans le tableau 1. La matrice cimentaire K3 (Ambroise 2014), est constituée d'un squelette granulaire de granulométrie inférieure à  $300 \mu\text{m}$ , d'un liant ettringitique et d'un système additif constitué d'agents modificateurs de prise pour ajuster la durée pratique d'utilisation et le temps de durcissement et d'agents de rhéologie pour assurer la fluidité et la stabilité de la matrice. La particularité de cette matrice est son durcissement et sa montée en résistance rapides (cf. tableau 1). Cela permet de réduire un phénomène important dans les couches minces que sont les composites, à savoir le séchage. Ce phénomène de séchage est doublement pénalisant car il mène à une faible hydratation et à du retrait. De plus, le liant de la matrice utilisé ne libérant pas de chaux (pH d'environ 10.5), il ne constitue pas un environnement agressif pour les fibres de verre.

**TABLEAU 1.** Caractéristiques des textiles de verre E et de la matrice K3

Textile UD de verre E		Matrice K3	
Résistance en traction	1 400 MPa	Résistance en traction à 7j	$3 \pm 0,2 \text{ MPa}$
Module d'élasticité	73 GPa	Résistance en compression à 7j	$9,5 \pm 0,7 \text{ MPa}$

### B. Présentation des techniques expérimentales

Les éprouvettes sont de forme parallélépipédique rectangulaire (Fig. 1.a). Le textile de verre est régulièrement réparti entre 2 couches de matrice d'égale épaisseur (Fig. 1.b). Les faces supérieures des échantillons sont protégées par un film plastique afin de limiter le séchage jusqu'au démoulage à 24 heures. Puis les échantillons sont conservés à température ambiante pendant six jours. Deux plaques d'aluminium, préalablement percées, ont été collées aux deux extrémités de l'échantillon grâce à une résine epoxy. Avant de procéder à l'essai de traction, un mouchetis de peinture noire et blanche a été appliqué sur la face lisse des éprouvettes afin d'utiliser la technique de corrélation d'images (DIC) (Fig. 1.c).



**FIGURE 1.** Echantillon : a) géométrie (mm); b) préparation; c) prêt à être testé

Pour chaque composite, trois configurations expérimentales ont été envisagées pour étudier l'effet de la pré-impregnation des textiles sur le comportement en traction du composite : (i) S : fils secs ;

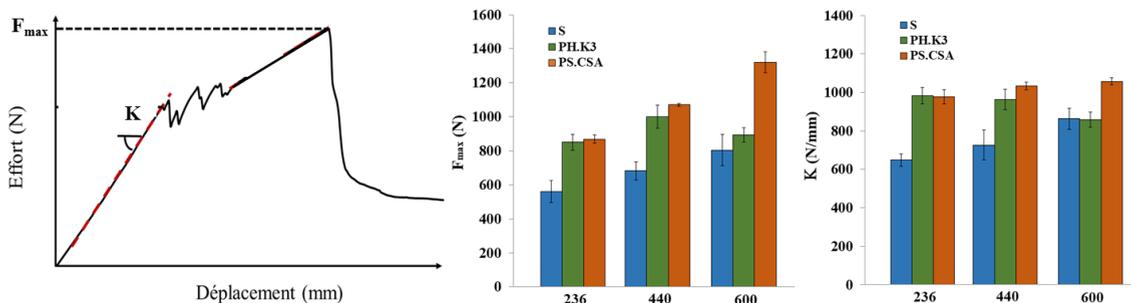
(ii) **PH.K3** : pré-impregnation humide avec la matrice K3 par action manuelle ; (iii) **PS.CSA** : pré-impregnation à sec avec un ciment sulfo-alumineux.

Les essais de traction ont été réalisés 7 jours après le coulage au moyen d'une machine de traction universelle Zwick/Roell de capacité 65 KN en utilisant des mors rotulés sur au moins six échantillons par configuration (vitesse de déplacement de 1 mm/min). Un appareil photo de résolution  $2560 \times 2048$  pixels a été utilisé pour réaliser la corrélation d'images.

### III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Dans le cas des composites 236 et 440, la pré-impregnation du renfort selon les deux procédés a contribué à une augmentation de l'effort  $F_{max}$  similaire de l'ordre de 52-53%. Par contre, pour le composite 600, l'amélioration de la résistance maximale en traction obtenue par pré-impregnation du textile par voie sèche est beaucoup plus importante que celle obtenue par pré-impregnation par voie humide : 64% en PS et 11% en PH (fig. 2). Nous en déduisons que la méthode de pré-impregnation par voie humide reste efficace dans le cas des renforts de faible grammage, cas des TRC 236 et 440, mais atteint sa limite quand le renfort devient très dense, cas du TRC 600. En effet, l'action mécanique manuelle mise en œuvre ne suffit pas pour faire migrer les particules de la matrice jusqu'au cœur du fil.

Le paramètre de rigidité  $K$ , correspondant à la raideur de la première zone de la courbe effort-déplacement, fait intervenir, selon la loi de mélange, la rigidité de la matrice, la rigidité du textile et le taux de renfort. Plus ce dernier est important plus la rigidité  $K$  augmente. De ce fait, pour un même type de TRC, ce sont les composites pré-impregnés qui présentent la rigidité la plus élevée. En effet, la pré-impregnation augmente le nombre de filaments contribuant à la résistance du matériau et donc agit sur le taux de renfort efficace du composite.



**FIGURE 2.** a) Courbe-type d'un TRC en traction ; Valeurs caractéristiques en traction b)  $F_{max}$  ; c)  $K$

La technique de corrélation d'images a permis de déterminer l'ouverture de fissures moyenne des éprouvettes des TRC 236, 440 et 600 pour différents niveaux de chargement, et pour les trois configurations de textile étudiées : S, PH.K3 et PS.CSA (fig. 3). Quelle qu'elle soit, la pré-impregnation du textile entraîne la diminution de l'ouverture de fissures. Les plus faibles valeurs d'ouvertures des fissures, obtenues avec une pré-impregnation par voie sèche, traduisent une très bonne adhérence entre les textiles et la matrice cimentaire. Ces résultats montrent l'intérêt du procédé de pré-impregnation à sec même dans le cas d'utilisation des textiles de faible grammage (TRC 236), pour lesquels la résistance est similaire pour les 2 types de pré-impregnation. La pré-impregnation par voie sèche PS.CSA a conduit à la formation d'un nombre important de fissures

par rapport à la méthode classique PH.K3, (cf. fig. 4), ce qui a entraîné une réduction de l'espacement des fissures des TRC pré-impregnés à sec. Cette réduction est d'autant plus importante que le grammage du textile est grand : -11% pour le TRC 236 et -63% pour le TRC 600. C'est en accord avec les résultats des essais de caractérisation en traction montrant que l'efficacité de la pré-impregnation par voie humide diminue avec l'augmentation de la densité du textile.

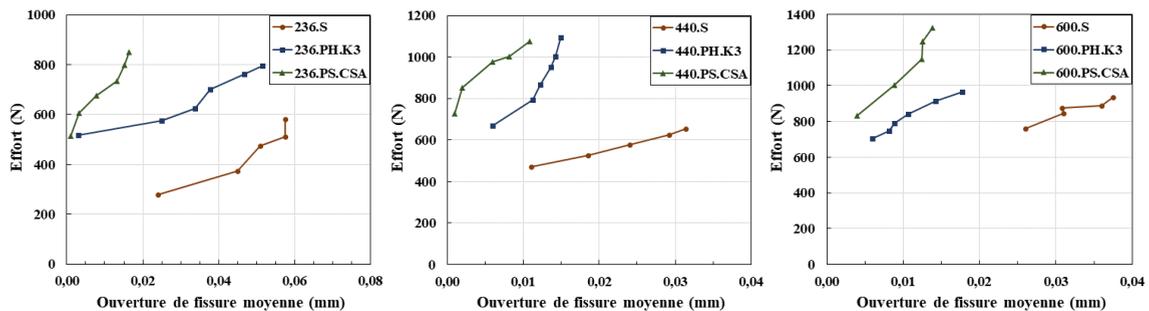


FIGURE 3. Ouverture de fissures des TRC en fonction de la charge et du type de pré-impregnation

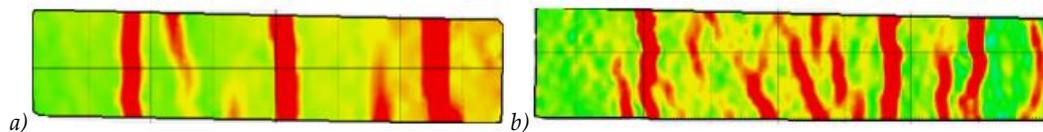


FIGURE 4. Visualisation des fissures le long du composite 600 : a) PH.K3 et b) PS.CSA

## CONCLUSIONS

Les essais de traction menés sur différents TRC ont montré que le comportement en traction dépend fortement du grammage du textile et du type de pré-impregnation de ce textile. Sans pré-impregnation, la pénétration de la matrice reste limitée à l'extrême périphérie du fil. La pré-impregnation par voie humide semble être une méthode efficace mais son effet positif sur le comportement mécanique du TRC a tendance à diminuer avec l'augmentation de la densité du textile. La pré-impregnation par voie sèche donne des résultats très intéressants : elle confère au composite de meilleures propriétés mécaniques quel que soit le poids spécifique du textile. Elle entraîne également une dispersion des résultats moindre que celle engendrée par la pré-impregnation classique. Enfin, cette méthode engendre la formation d'un nombre important de fissures qui se caractérisent par de faibles ouvertures, de l'ordre de quelques micromètres.

## REFERENCES

DVORKIN D. and PELED A., (2016) "Effect of reinforcement with carbon fabrics impregnated with nanoparticles on the tensile behavior of cement-based composites". *Cement and Concrete Research*, vol. 85, July 2016, pp. 28-38.

BENTUR A., YARDIMCI M. Y. and TIROSH R., (2013) "Preservation of telescopic bonding upon aging of bundled glass filaments by treatments with nano-particles". *Cement and Concrete Research*, May 2013, vol. 47, pp. 69-77.

CARAMARO L., MARDUEL J., (2016) "Impregnation voie sèche-Procédé d'impregnation électrostatique de la société Fibroline" *Techniques de l'ingénieur - Procédés textiles*, February 2016

AMBROISE J., MICHEL M., (2014) "Matrice minérale destinée la fabrication de composites minces par impregnation de renforts tissés ou non tissés", Patent No de dépôt : 1453558, WO 2015 158896 A1.