

# Analyse expérimentale du comportement d'arrachement des composites à matrice cimentaires

Mohamed Saidi<sup>1</sup>, Aron Gabor<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université de Lyon, Université Lyon 1, Laboratoire des Matériaux Composites pour la Construction (LMC2), 82 bd Niels Bohr, F-69622 Villeurbanne, France.

[Mohamed.saidi@univ-lyon1.fr](mailto:Mohamed.saidi@univ-lyon1.fr) (Mohamed Saidi); [aron.gabor@univ-lyon1.fr](mailto:aron.gabor@univ-lyon1.fr) (Aron Gabor)

**RESUME** Cet article présente une étude expérimentale de la distribution de la contrainte de cisaillement à l'interface textile/matrice d'un essai d'arrachement (pull-out). Cette distribution est obtenue à l'aide des capteurs à fibre optique distribués avec une résolution spatiale millimétrique. Ces fibres optiques ont été collées sur le fil en permettant la mesure de sa déformation sur toute la longueur d'ancrage. Puis, par une analyse mécanique, l'évolution de la contrainte de cisaillement à l'interface textile/matrice est déduite. Les résultats obtenus montrent que cette contrainte de cisaillement n'est pas constante le long de la longueur d'ancrage. Cette contrainte présente une forme décroissante au fur et à mesure qu'elle se déplace sur la longueur d'ancrage à partir du point d'insertion du fil dans la matrice. Ce résultat a permis d'une part de corriger les hypothèses de calcul du comportement à l'arrachement dans la littérature qui suppose que cette contrainte de cisaillement est constante. D'autre part, cette étude permet une meilleure analyse du comportement en fissuration des composites à matrice cimentaire.

**Mots-clés** Comportement d'arrachement (pull-out) ; FRMC ; capteur fibre optique ; TRCMC ; interface textile/matrice.

## I. INTRODUCTION

Les composites à matrice cimentaire et renfort textile (TRCMC : Textile reinforced Cementitious Matrix Composite) sont l'une des techniques les plus efficaces pour le renforcement et la réparation des structures de génie civil. La caractérisation du comportement mécanique de ces composites se fait par l'identification de certains paramètres micromécaniques, dont la contrainte de cisaillement à l'interface textile/matrice (Cuypers and Wastiels, 2006). Cette contrainte est généralement obtenue par des essais d'arrachement en utilisant la même matrice et le même renfort textile du TRCMC à caractériser. Ensuite, la contrainte de cisaillement est obtenue en divisant la charge appliquée par la surface latérale du renfort textile sur toute la longueur de l'ancrage, tout en supposant que cette contrainte est constante (Dalalbashi et al., 2018). Ces résultats sont obtenus généralement en utilisant des LVDTs comme technique de mesure.

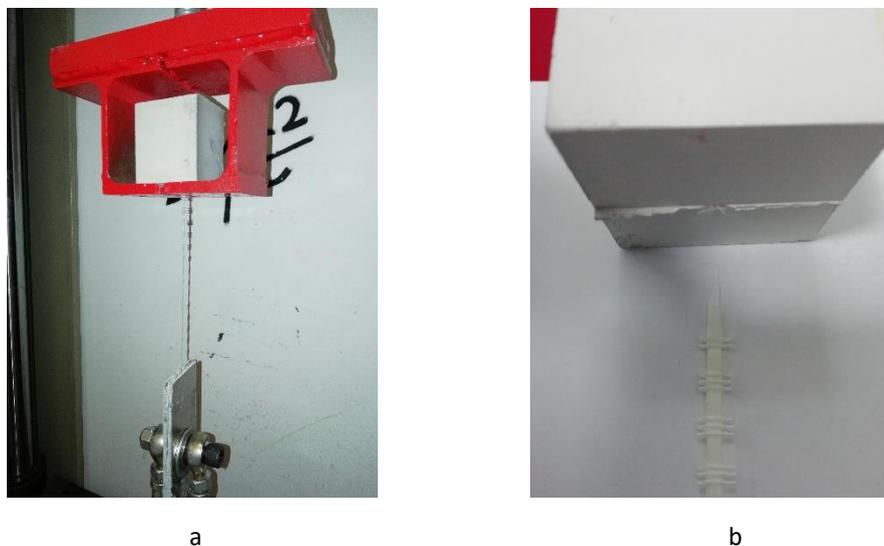
Grace au progrès technologique, des capteurs plus performants et intégrables au cœur des matériaux sont développés, dont les capteurs à fibre optique. Ces capteurs sont utilisés en domaine des composites, que ce soit pour les FRP ou les TRCMCs (Bruno, 2018; Saidi and Gabor, 2019). La

fiabilité des résultats fournis par ces capteurs a été prouvée (M. Saidi and Gabor, 2019). Ainsi, la méthode de calcul des contraintes à l'interface textile/matrice des TRCMCs a fait l'objet d'étude par fibre optique (Saidi and Gabor, 2020). Ces capteurs ont permis de visualiser et analyser à la fois le comportement global et local des TRCMCs. Ces résultats permettent de conclure que par analogie, les fibres optiques peuvent être utilisées dans l'étude des essais d'arrachement. Cela permettra de mieux analyser le comportement d'arrachement et de prédire la réponse mécanique local à partir du comportement global d'un essai d'arrachement classique.

## II. Matériels et méthodes

### A. Technique de mesure

Les essais d'arrachement sont effectués par une machine de traction Zwick. Ces tests sont pilotés en déplacement avec une vitesse de 0.1 mm/min. La fibre optique utilisée a un diamètre de 250  $\mu\text{m}$  et une résolution spatiale de 2.6 mm. Cette fibre optique est collée sur le fil le long de 3 cm de la partie libre du renfort, ensuite insérée dans un gainage plastique de 1 cm à la jonction du fil au bloc de la matrice, puis collée sur toute la longueur d'ancrage (4.5 cm). Le gainage plastique a pour rôle de limiter la concentration des contraintes à la jonction fil/matrice. Le bloc de matrice présente une forme d'un cube de 5 cm de cote. Le bloc de matrice est bloqué à l'aide d'un mors de forme de 'Π' (fig.1-a). La partie libre du fil est attachée à deux plaques d'aluminium. Ces dernières sont liées à un mors rotule permettant de transférer la force d'arrachement de la Zwick au fil.



**FIGURE 1.** Essai d'arrachement : (a) protocole expérimental ; (b) mode de rupture

### B. Caractéristiques géométriques et mécaniques des matériaux utilisés

Les éprouvettes d'arrachement testées dans ce travail sont composées d'une matrice cimentaire à base d'ettringite et d'un fil de verre AR. Le fil est pré-imprégné de résine et présente un comportement monolithique. Tableau 1 présentes les différentes caractéristiques de ces deux composants.

**TABLEAU 1.** Propriétés géométriques et mécaniques de la matrice et du fil de verre AR utilisés

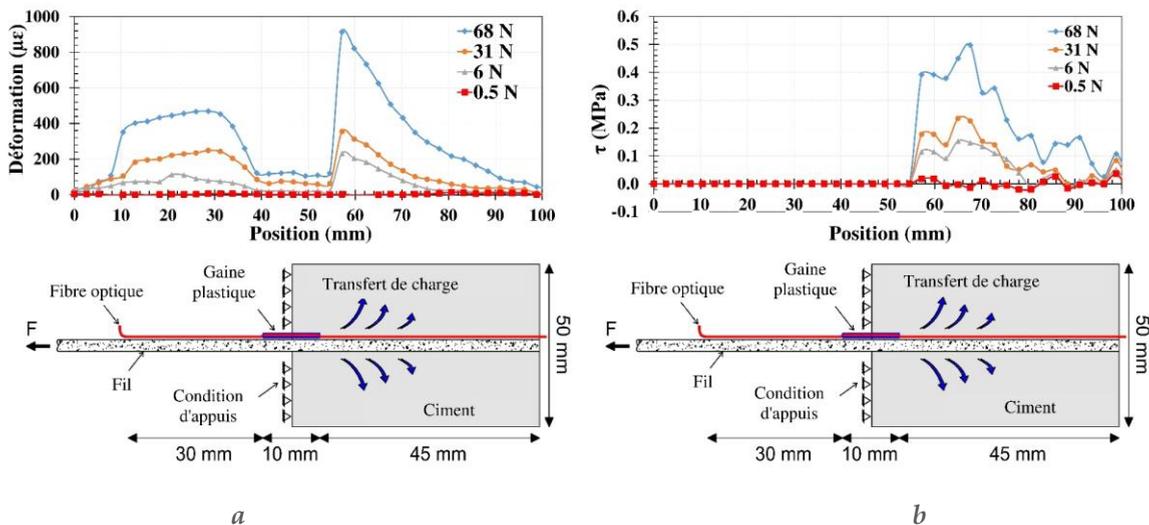
Composant	Contrainte max en traction (MPa)	Module de Young E (MPa)	Périmètre P <sub>f</sub> (mm)	Section transversale S <sub>f</sub> (mm <sup>2</sup> )
Matrice	3.5	<del>10400</del> 10700	-	-
Fil de verre AR	520	35000	7	2.2

**II. Résultats et analyse**

*A. Résultats expérimentaux*

À partir de la distribution de la déformation du fil le long de la longueur d’ancrage, la contrainte de cisaillement à l’interface fil/matrice  $\tau(x)$  peut être déduite. En effet, le fil transfère la charge d’arrachement appliquée à la matrice au fur et à mesure de la longueur d’ancrage. Ce transfert se fait par l’intermédiaire de l’interface fil/matrice. De ce fait, il suffit de connaître la charge transférée pour chaque élément ‘dx’ du fil et la divisée par la surface latérale de cet élément pour obtenir la contrainte de cisaillement à l’interface. Cette charge transférée est déduite par le calcul de la différence de déformation de la fibre optique entre chaque deux points de mesure successives. ‘dx’ représente donc la résolution spatiale de la fibre optique qui est de 2.6 mm.

$$\tau(x) = (S_f \times E_f \times \Delta \epsilon_f) / (dx \times P_f)$$

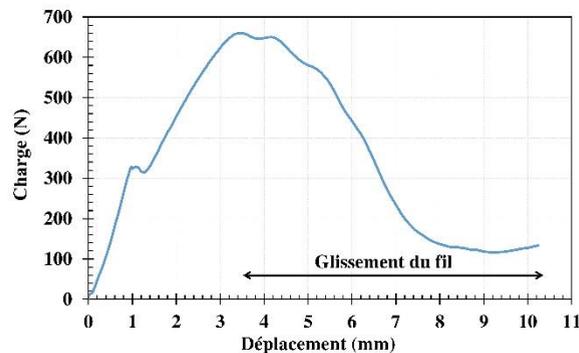


**FIGURE 2.** Résultats expérimentaux de l’essai d’arrachement : (a) distribution de la déformation le long du fil ; (b) distribution de la contrainte de cisaillement à l’interface fil/matrice

À noter que les résultats présentés sur fig.2 sont obtenus avant le glissement du fil dans la matrice (voir fig.3). En effet, malgré l’utilisation de la gaine plastique, la fibre optique se casse par effet de concentration des contraintes à la jonction fil/matrice. Nous pouvons remarquer que la déformation du fil présente une allure logarithmique décroissante le long de la longueur d’ancrage en partant de la jonction du fil au bloc de la matrice. La contrainte de cisaillement à l’interface présente une forme bruitée vu qu’elle dépend du gradient de la déformation. Cette contrainte peut être

rapprocher par une forme quasi-linéaire avec une tendance décroissante le long de la longueur d'ancrage en partant de la jonction du fil au bloc de la matrice.

En observant la partie libre du fil, nous remarquons qu'elle présente une déformation faible par rapport à celle du fil proche de la jonction fil-matrice (fig.2-a). Cette constatation mis en lumière l'effet de la concentration des contraintes à la jonction par effet du changement brutal de la section. De ce fait, si la résistance de l'interface est plus grande que celle du fil, la rupture de ce dernier est produite à la jonction fil-matrice (fig.1-b).



**FIGURE 3.** Comportement global de l'essai d'arrachement

### III. Conclusion

Cette étude expérimentale a permis de visualiser la distribution exacte de la déformation du fil et la contrainte de cisaillement à l'interface fil/matrice d'un essai d'arrachement. Cela permettra d'une part de rectifier les hypothèses de calcul des modèles analytiques. D'autre part, de confirmer que ces essais donnent des bonnes perspectives dans le but d'étudier profondément ce comportement d'interface, notamment au cours du glissement du fil.

### REFERENCES

Bruno, L., (2018). Mechanical characterization of composite materials by optical techniques: A review. *Opt. Lasers Eng.* 104, 192–203. <https://doi.org/10.1016/J.OPTLASENG.2017.06.016>

Cuyppers, H., Wastiels, J., (2006). Stochastic matrix-cracking model for textile reinforced cementitious composites under tensile loading. *Mater. Struct. Constr.* 39, 777–786. <https://doi.org/10.1617/s11527-005-9053-0>

Dalalbashi, A., Ghiassi, B., Oliveira, D. V., Freitas, A., (2018). Effect of test setup on the fiber-to-mortar pull-out response in TRM composites: Experimental and analytical modeling. *Compos. Part B Eng.* 143, 250–268. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2018.02.010>

Saidi, M., Gabor, A., (2019). Adaptation of the strain measurement in textile reinforced cementitious matrix composites by distributed optical fibre and 2D digital image correlation. *Strain.* <https://doi.org/10.1111/str.12335>

Saidi, M., Gabor, A., (2020). Experimental analysis of the tensile behaviour of textile reinforced cementitious matrix composites using distributed fibre optic sensing (DFOS) technology. *Constr. Build. Mater.* 230, 117027. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2019.117027>