

Suivi par émission acoustique de l'endommagement des composites à matrice cimentaire

Nadège Reboul¹, Mohamed Saidi¹, Aron Gabor¹

¹ Université Claude Bernard Lyon 1, Laboratoire des Matériaux Composites pour la Construction (LMC2)

RESUME Le comportement en traction directe de composites à matrice cimentaire (TRC) est étudié et un suivi de leur endommagement est assuré par la technique d'émission acoustique. Suite à l'application d'une méthode de classification non supervisée, les signaux acoustiques se regroupent en différentes classes, corrélées aux mécanismes qui se développent progressivement lors de l'essai : la fissuration matricielle, la décohésion textile/matrice, les frottements et l'endommagement du textile. Les données acoustiques sont qualitativement comparées avec l'évolution de la longueur de transfert de charge obtenue grâce à des fibres optiques noyées dans les composites étudiés. Il en ressort que le suivi par émission acoustique renseigne sur le développement de l'endommagement de l'interface textile/matrice et permet donc d'accéder au comportement interne des TRC.

Mots-clés composites à matrice cimentaire, émission acoustique, classification non supervisée, fibre optique

I. INTRODUCTION

Les composites à matrice cimentaire (TRC) sont de plus en plus largement utilisés pour le renforcement des structures, et notamment des maçonneries. L'optimisation de leur exploitation et de leur dimensionnement nécessite une meilleure connaissance de leur réponse mécanique et de leurs mécanismes d'endommagement. L'appréhension du comportement de l'interface textile/matrice est notamment un point clé et suppose le recours à des techniques expérimentales spécifiques. (Saidi & Gabor, 2020) ont précédemment mis en exergue les potentialités de la fibre optique, couplée à la corrélation d'images pour mieux caractériser cette interface. La contribution de la présente étude est de montrer les possibilités de l'émission acoustique lors d'essais de traction directe sur des TRC pour mieux cerner le processus d'endommagement de ces matériaux. En particulier, une classification non supervisée des signaux acoustiques est réalisée et un travail d'interprétation est mené pour relier les classes identifiées aux mécanismes d'endommagement connus dans les TRC. Les résultats des mesures acoustiques sont analysés au regard des autres données expérimentales recueillies, notamment par fibre optique.

II. MATERIAUX, PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Les composites à matrice cimentaire testés allient une matrice cimentaire ettringitique, liquide et autoplaçante et une ou plusieurs grilles de carbone de mailles $17 \times 17 \text{ mm}^2$, avec un poids surfacique de 525 g/m^2 . Le TABLEAU 1 fournit les caractéristiques mécaniques de ces constituants : ont été testés jusqu'à rupture à 0.1 mm/min 12 éprouvettes cylindriques ($\phi 35$) de matrice (6 en compression, 6 en traction), munies de jauges et 6 fils de 35 cm de long (un capteur laser permettant la mesure du déplacement relatif entre deux zones du fil).

TABLEAU 1. Propriétés mécaniques de la matrice cimentaire et du textile carbone

	Traction			Compression		
	σ_{um} [MPa]	ε_{um} [$\mu\text{m/m}$]	E_t [MPa]	σ_u [MPa]	ε_u [$\mu\text{m/m}$]	E_c [MPa]
Matrice cimentaire	4.5 ± 0.36	400 ± 34	14000 ± 492	40 ± 1.57	3000 ± 230	13000 ± 507
Textile carbone	518 ± 34	6500 ± 400	105000 ± 6810	-	-	-

Trois éprouvettes de TRC, différant par leur taux de renforcement, ont été testées : TRC-1C, TRC-2C et TRC-3C disposent respectivement d'1, 2 et 3 couches de textile carbone. Des spécimens de dimensions $600 \times 50 \times 10 \text{ mm}^3 (\pm 1 \text{ mm})$ ont été confectionnés et munis chacun d'une fibre optique de longueur 2 m , permettant de définir 6 segments de 25 cm pour la mesure des déformations à différents endroits du TRC (cf FIGURE 1 (a) et (Saidi & Gabor, 2020) pour les détails de préparation).

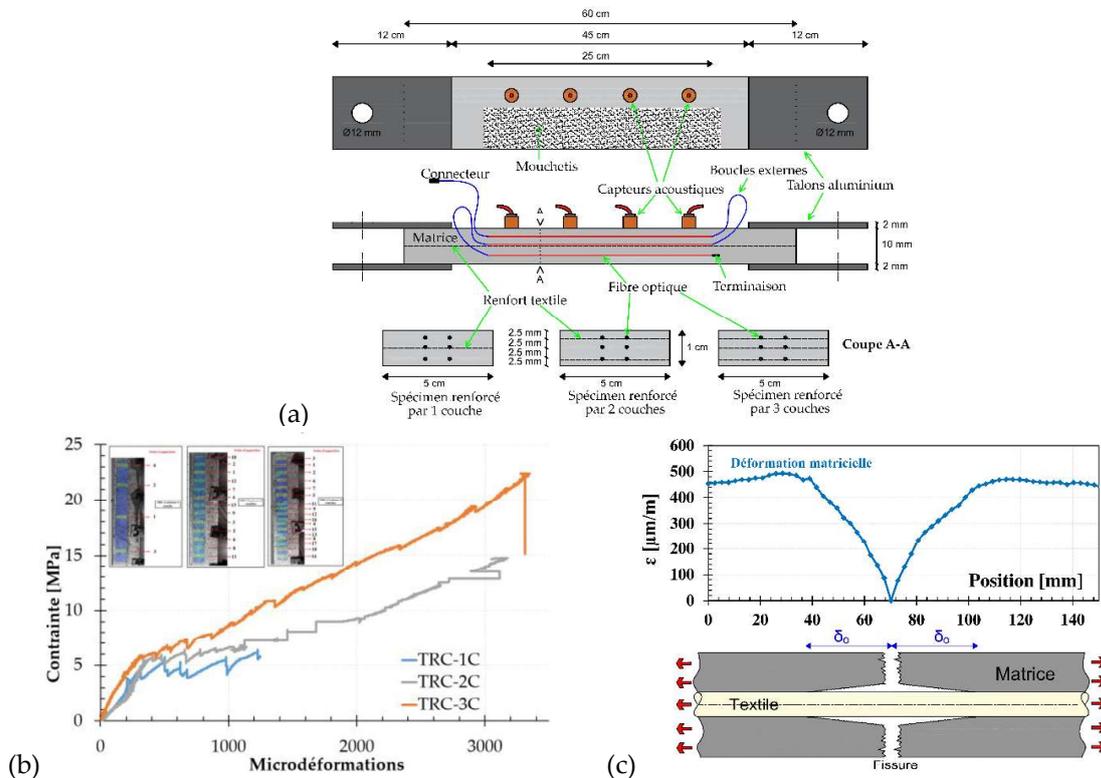


FIGURE 1. (a) Schéma des TRC et de l'instrumentation (FO et EA). (b) Courbes contraintes-déformations et schémas de fissuration. (c) Longueur de transfert de charge visualisée à partir des déformations matricielles autour d'une fissure.

Les éprouvettes ont été testées en traction sur une machine Zwick de capacité maximale de 65 kN, pilotée en déplacement, à une vitesse de 0.1 mm/min. Les déformations issues de la fibre optique sont obtenues via l'appareil ODiSI-B LUNA, avec une résolution spatiale de 2.6 mm et une fréquence d'enregistrement de 1 Hz. Pendant l'essai, l'activité acoustique des éprouvettes est recueillie via des capteurs large bande $\mu 80$ (MISTRAS), couplés à l'aide d'une colle polymère et préamplifiés à 40 dB : 4 capteurs pour TRC-1C et 6 pour TRC-2C et TRC-3C. Les paramètres d'acquisition sont les suivants : seuil de détection=35 dB, PDT=50 μ s, HDT=100 μ s et HLT=200 μ s.

III. METHODOLOGIE D'ANALYSE DES SIGNAUX ACOUSTIQUES

Les signaux acoustiques sont débruités et filtrés en recourant à la transformée de Hilbert-Huang et en sélectionnant le mode empirique le plus énergétique. Les descripteurs suivants sont calculés sur chaque signal reconstruit : le temps de montée, la durée, le nombre de coups, le nombre de coups au pic, le pic de fréquence, le barycentre fréquentiel, la fréquence du pic pondérée et les fréquences partielles (PP1 sur [0-200 kHz], PP2 sur [200-400 kHz] et PP3 sur [400-1000 kHz]). Une analyse en composantes principales permet ensuite de générer des variables non-corrélées, qui sont ensuite partitionnées par l'algorithme des k -moyennes, qui repose sur une donnée *a priori* du nombre de classes k . Le nombre de classes finalement retenu est choisi en recourant aux deux indicateurs de qualité des partitions que sont Davies-Bouldin et Silhouette.

IV. RESULTATS ET DISCUSSION

A. Comportement mécanique

La **FIGURE 1** (b) présente les courbes contrainte-déformation et les schémas de fissuration des trois configurations de TRC de cette étude. Les trois phases de comportement usuellement observées pour un TRC – zones linéaire, puis de multi-fissuration et de post-fissuration – sont observables, sauf pour TRC-1C dont le taux de renfort ne permet pas d'observer la troisième phase.

La **FIGURE 1** (c) illustre le transfert de charge qui s'opère lors de la fissuration : l'effort appliqué est intégralement repris par le textile au droit de la fissure et progressivement transmis à la matrice sur une longueur δ_0 , de part et d'autre de la fissure. (Saidi & Gabor, 2020) ont souligné le rôle majeur de cette longueur de transfert de charge qui permet de remonter au comportement global du composite et ont mis en exergue les potentialités de la fibre optique pour la mesure de ce paramètre.

B. Classification des signaux acoustiques et interprétation des classes

Les **FIGURE 2** (a), (b) et (c) présentent respectivement les résultats de la classification des signaux dans le plan (FPP x PP2) pour TRC-1C, TRC-2C et TRC-3C. Une analyse plus approfondie des émissions acoustiques émises par le mortier seul et le textile seul permet de supposer une corrélation entre ces regroupements de signaux et les mécanismes d'endommagement attendus dans le TRC. Ainsi, la classe 1 a été associée à la fissuration matricielle, la classe 2 à l'endommagement de l'interface textile/matrice, la classe 3 aux mécanismes de frottement et la classe 4 à la sollicitation du textile en traction (absente, logiquement, pour TRC-1C).

Si l'on se concentre sur les signaux associés à la classe 2, les **FIGURE 2** (d), (e) et (f) montrent que, pour les trois configurations testées, l'évolution des amplitudes cumulées des signaux acoustiques émis est comparable à l'évolution de la longueur de transfert de charge obtenue par fibre optique. Ainsi, l'émission acoustique renseigne qualitativement sur l'endommagement de l'interface textile/matrice au cours de la sollicitation en traction.

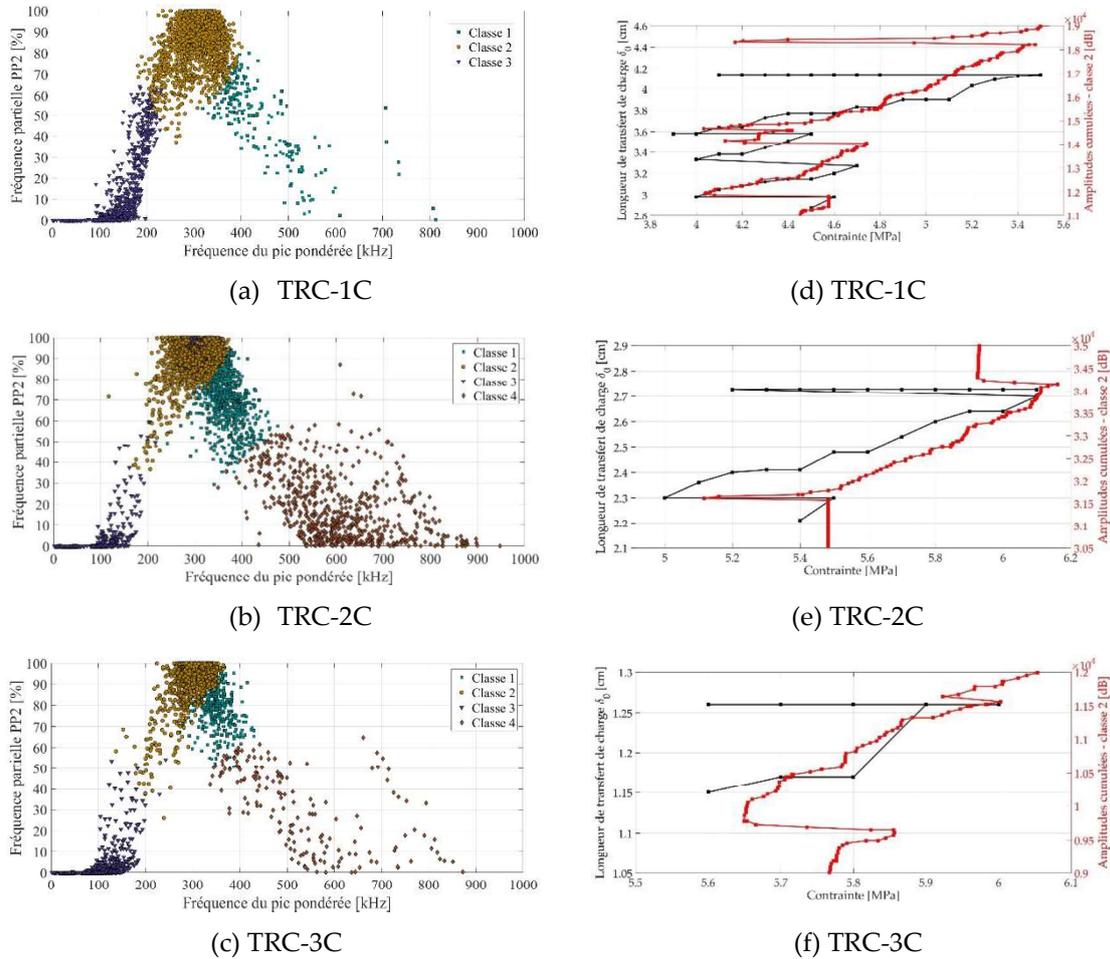


FIGURE 2. Résultats de la classification des signaux acoustiques (a), (b) et (c) et comparaison des évolutions de la longueur de transfert de charge et des données acoustiques (d), (e), (f) pour les trois composites testés.

V. CONCLUSIONS

Cette étude souligne la pertinence de la technique d'émission acoustique pour le suivi de l'endommagement de composites à matrice cimentaire. En perspective, cette technique pourra être utilisée pour mieux cerner les mécanismes d'adhérence entre TRC et maçonneries.

REFERENCES

Saidi, M. & Gabor, A., 2020. Experimental analysis of the tensile behaviour of textile reinforced cementitious matrix composites using distributed fibre optic sensing (DFOS) technology. *Construction and Building Materials*, 230(117027). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117027>