

***Etude de la surveillance de l'état structurel des structures sandwich renforcées par tufting: une nouvelle approche basée sur l'effet piézorésistif.***

***Study of the structural health monitoring of sandwich structures reinforced by tufting: a novel approach based on the piezoresistive effect.***

**Alan Martins<sup>1</sup>, Zoheir Aboura<sup>1</sup>, Walid Harizi<sup>1</sup>, Abdelouahed Laksimi<sup>1</sup>, Khalil Hamdi<sup>1</sup>**

1 : Département de Génie Mécanique, Laboratoire Roberval  
Alliance Sorbonne Université, Université de Technologie de Compiègne, Laboratoire de Mécanique  
Roberval FRE 2012, Dept GM, CS 60319, 60203 Compiègne Cedex, France  
e-mail: alan-tulio.martins@utc.fr

Le présent travail tire parti de la supérieure conductivité électrique des fibres de carbone insérées par tufting pour la surveillance de l'état des structures. Cette approche constitue un avantage supplémentaire par rapport au but principal de renforcer au travers l'épaisseur des composites, qui est d'améliorer les propriétés hors-plan des composites stratifiés [1][2]. La méthode peut supporter les autres techniques non destructives telles que l'émission acoustique et la corrélation d'images numériques, surtout pour évaluer l'état de santé des fils de couture. Il est crucial d'obtenir des informations précises sur les réponses aux endommagements des coutures afin de fournir des données précises pour la modélisation numérique des structures cousues. De plus, une fois que les coutures sont des composants structurels dans les composites, l'étude de leur état de santé peut également conduire à une surveillance de l'état de santé des composites. Cette méthode considère l'effet piézorésistif des fils de couture soumis à un chargement mécanique pour obtenir la variation de la résistance électrique causée par la déformation et en particulier par les endommagements [3][4].

Les structures sandwich étudiées dans le présent travail consistaient en mousse de polystyrène, d'une épaisseur de 18 mm, et de deux faces parallèles en fibres de verre sergé 2/2 avec une séquence d'empilement [0]<sub>s</sub>. Le procédé de tufting a utilisé des fils de carbone/PBO et une densité de touffetage de 10x10 mm. Ensuite, les préformes sèches ont été infusées par une résine epoxy par le procédé VARTM.

Les structures sandwichs renforcées par couture ont été soumises à des essais de compression hors-plan. Il est envisagé l'investigation du comportement de la résistance électrique des coutures sous une charge statique progressive. Les échantillons ont été sujets à des tests de compression multi-étapes, incrémentant 500N à chaque étape et maintenant constant pendant 2 minutes jusqu'au prochain incrément. Cette procédure permet de comprendre la réponse électrique lors du chargement des éprouvettes ainsi que la stabilité des mesures tout en maintenant la charge.

La figure 1 présente une réponse typique de la résistance électrique mesurée à partir d'une seule rangée de couture, comme indiqué sur la figure 3a, sous le test de compression. Elle présente l'évolution de la contrainte et le changement fractionnel de la résistance (la différence entre la valeur de résistance instantanée (R) et la résistance initiale (R<sub>0</sub>) sur R<sub>0</sub>). La réduction de la résistance électrique jusqu'au événement III est surtout due au chargement de l'éprouvette qui compriment également les fils verticalement. La compression réduit la longueur initiale de la couture dans la direction transversal (L) et, par conséquent, réduit la résistance électrique, comme décrit à partir de la loi d'Ohm (Eq. 1). Comme prévu, la

---

résistance reste stable pendant le plateau de charge une fois qu'il n'ya pas de variation de chargement. A partir de l'étape IV, la diminution de la résistance électrique lors de la rampe de chargement a disparu. Au lieu de cela, la résistance électrique commence à monter pendant le chargement mécanique en raison des endommagements spécialement générés dans la couture. Ce comportement va contre les phénomènes déjà expliqués qui réduisent la résistance électrique en rétrécissant les coutures longitudinalement. Une augmentation remarquable de la résistance électrique est obtenue principalement par la rupture des fibres dans le fil de couture jusqu'à sa rupture complète, caractérisée par la forte augmentation de la dernière étape dans la figure. Ces endommagements empêchent le passage du courant électrique et augmentent donc la résistance électrique.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (\text{Eq. 1})$$

Où  $L$  est la longueur du conducteur (m),  $A$  est la section du conducteur ( $\text{m}^2$ ) et  $\rho$  est la résistivité électrique du matériau ( $\Omega \cdot \text{m}$ ).

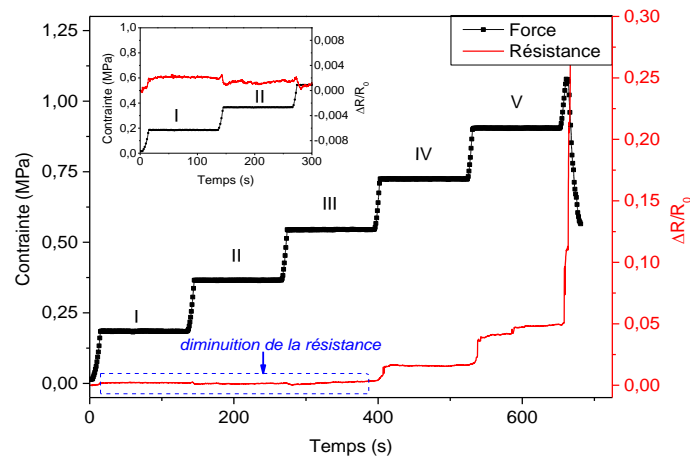


Fig. 1. Réponse typique de la résistance électrique lors d'un essai de compression multi-étapes (le haut de la courbe met en évidence la légère baisse de résistance).

### Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le CNPq (Brésil) pour la bourse accordée à Alan Martins, ce qui a permis la réalisation de cette recherche.

### Références

- [1] A. T. Martins, Z. Aboura, W. Harizi, et al. Analysis of the impact and compression after impact behavior of tufted laminated composites. *Compos. Struct.* 184, pp. 352–361, 2018.
- [2] B. Lascoup, Z. Aboura, K. Khellil, et al. Impact response of three-dimensional stitched sandwich composite. *Compos. Struct.* 92, pp. 347–353, 2010.
- [3] A. T. Martins, Z. Aboura, W. Harizi, et al. Structural health monitoring by the piezoresistive response of tufted reinforcements in sandwich composite panels. *Compos. Struct.* 210, pp. 109–117, 2019.

- [4] A. T. Martins, Z. Aboura, W. Harizi, et al. Structural health monitoring for GFRP composite by the piezoresistive response in the tufted reinforcements. *Compos. Struct.* 209, pp. 103–111, 2019.