

Analyse des performances mécaniques des composites chargés par des nanotubes de carbone

M. TARFAOUI¹, K. LAFDI², A. EL MOUMEN¹

1. ENSTA Bretagne, IRDL CNRS-CNRS-FRE-3744, Brest, France. mostapha.tarfaoui@ensta-bretagne.fr

2. University of Dayton Research Institute, Dayton, OH 45469-0168, United States. klafdi1@udayton.edu

Résumé

L'objectif de cet article est la compréhension de l'effet des additifs de nanotubes de carbone (NTC) sur le comportement mécanique des composites carbone/époxy. Les matériaux testés se composent de trois phases, à savoir, tissu de fibres de carbone, matrice époxy et nanotubes de carbone. Nous rappelons que le composite est constitué d'un tissu satin de 12 plis. La fraction volumique des fibres de carbone est fixée à 50%. Pour quantifier l'apport des nanotubes de carbone (NTC), cinq type d'éprouvettes ont été testées représentant différents pourcentages, à savoir : 0%, 0.5%, 1%, 2% et 4%. Le contrôle de la distribution des NTCs dans le composite a été réalisée par des analyses microscopiques. Ces analyses permettent de vérifier la géométrie et la dispersion des NTC dans la matrice.

Un ensemble de tests mécaniques sur des éprouvettes trouées (Open Hole Tension (OHT)) a été réalisé. Les résultats expérimentaux montrent une augmentation de la performance mécanique du composite jusqu'à 2% des additifs NTC. Cependant, au-delà de cette valeur, la résistance du matériau présente une décroissance significative.

Mots clefs: Composite, nanotubes de carbone, performances mécaniques

1. Introduction

Les composites renforcés par des nanotubes de carbone (NTC) sont une nouvelle classe prometteuse de matériaux composites pour leur utilisation dans des domaines civils et militaires pour des applications aéronautiques et aérospatiales. Par conséquent, l'utilisation des NTCs dans les polymères a attiré une grande attention [1-2], parce que leurs excellentes propriétés mécaniques, électriques, thermiques et structurelles [3]. Pour les propriétés mécaniques, des études antérieures [4-7] ont montré que le module de Young est compris entre 600 et 1,4 TPa et que la résistance à la traction entre 10 à 200 GPa. Il convient de mentionner que les propriétés mesurées des NTC dépendent de la taille et de la structure des nanotubes. Plusieurs études sur les propriétés mécaniques des NTC à base de composite ont été réalisées [8-10].

Dans ce travail, nous développons des techniques expérimentales pour estimer le comportement mécanique des composites textiles renforcés par des NTC et leur

effet sur les propriétés élastiques. À l'aide d'essais OHT, les modules élastiques des composites textiles avec et sans Les NTC sont caractérisés. Nous allons nous concentrer dans ce papier sur la performance mécanique du composite avec / sans NTC par une analyse de la réponse mécanique en termes d'évolution de l'effort maximal et de la rigidité équivalente du matériau pour les différents cas considérés.

2. Matériaux

2.1 Composition des éprouvettes étudiées

Le matériau utilisé est un composite à base de fibres de carbone (T300 6K) noyées dans une matrice époxy (Epon 862). Les fibres sont disposées en armure satin de 5. Le composite étudié est constitué de 12 plis. La fraction volumique des fibres de carbone est de 50%. Pour quantifier l'apport des nanotubes de carbone au niveau des performances mécaniques de ce matériau composite, cinq type d'éprouvettes ont été testées représentant différents pourcentages de NTC (0%, 0.5%, 1%, 2% et 4%). La Figure 1 permet de montrer la dispersion aléatoire des nanotubes dans la matrice.

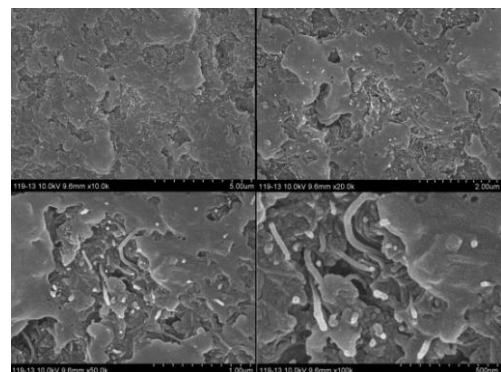


Figure 1: NTC dans la matrice, cas 4% NTC

2.2 Dimension des éprouvettes étudiées

Pour la quantification de l'apport des NTCs sur les performances mécaniques d'un composite carbone/époxy, une campagne d'essais (Open Hole Tension : essais de traction sur éprouvette trouée (ASTM D5766)) a été menée avec et sans NTC. Selon la norme ASTM D5766, l'essai « Open Hole Tension » donne le champ de contraintes dans une éprouvette sous une sollicitation de tension pour des composites multidirectionnels hautes performances. Cet essai est utilisé pour pouvoir prédire la loi de comportement du

composite. La Figure 2 illustre le dispositif expérimental utilisé et les dimensions de l'éprouvette.

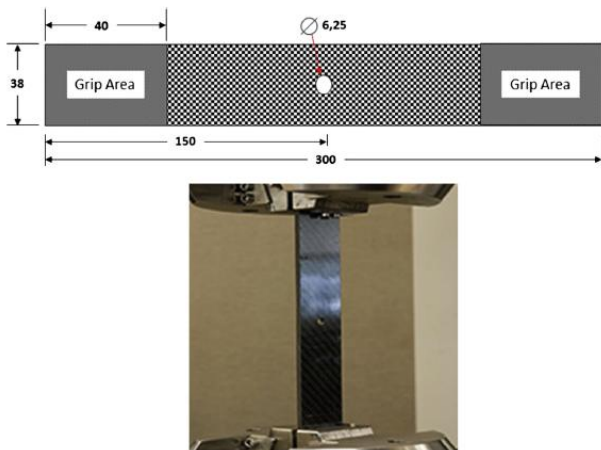


Figure 3: Essai de traction, OHT

3. Analyse des résultats expérimentaux

Des essais de traction ont été réalisés sur 5 types d'éprouvettes ayant 5 compositions différentes (0%, 0.5%, 1%, 2%, 4% de nanotubes de carbone). A chaque type de matériau (pourcentage de nanotubes de carbone), trois éprouvettes ont été utilisées pour quantifier la qualité des éprouvettes et le contrôle de la dispersion des NTCs par une analyse de la reproductibilité des essais. Les courbes obtenues, pour les différents pourcentages en nanotubes de carbone, sont données dans les Figures 3-7.

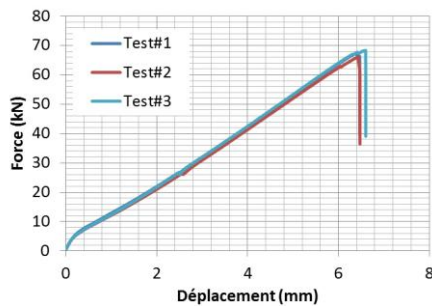


Figure 3: Force - Déplacement, 0% NTC

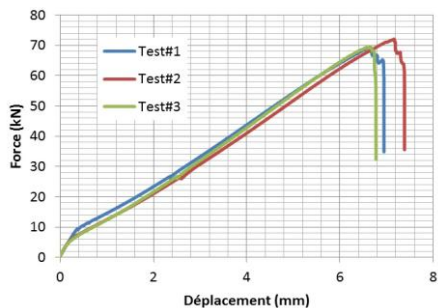


Figure 4: Force - Déplacement, 0.5% NTC

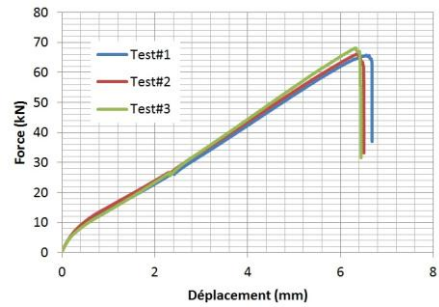


Figure 5: Force - Déplacement, 1% NTC

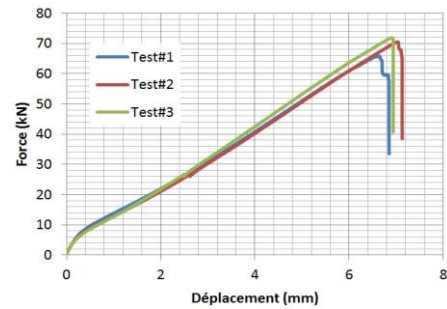


Figure 6: Force - Déplacement, 2% NTC

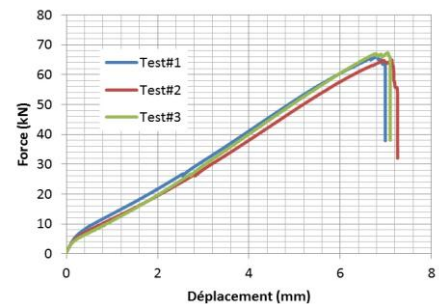


Figure 7: Force - Déplacement, 4% NTC

Les figures 3-7 montrent des courbes de Force-Déplacement expérimentales typiques, de différents spécimens, pour chaque fraction de NTC. Une bonne reproductibilité des tests est notée pour les différents %NTC. La tendance générale est que le niveau de la force maximale est augmenté par l'addition d'une quantité mineure de NTC qui jouent le rôle de renforcement et diminuent dans le cas de 4% des NTCs. Cependant, à des % de NTCs supérieurs, les NTC ont tendance à s'agglomérer et à se comporter comme un défaut d'inclusion. Inversement, toutes les courbes de composites renforcés de NTC ont la même tendance et montrent des résultats reproductibles.

Les courbes obtenues, en moyenne, pour les différents pourcentages en NTC sont données dans la figure 8. À partir des résultats expérimentaux, nous avons cherché à mettre en évidence l'influence des NTCs sur le comportement mécanique des composites. Ainsi, nous avons tracé des diagrammes barres représentant la force maximale en fonction du % NTCs.

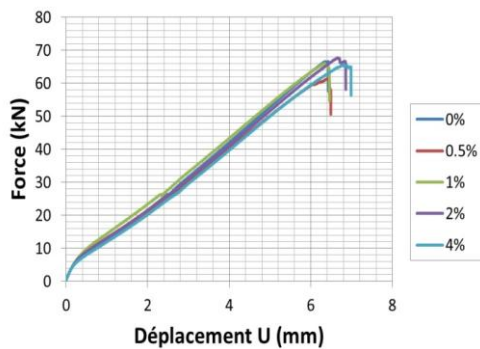
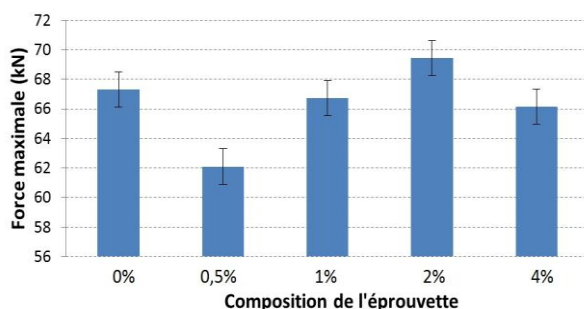


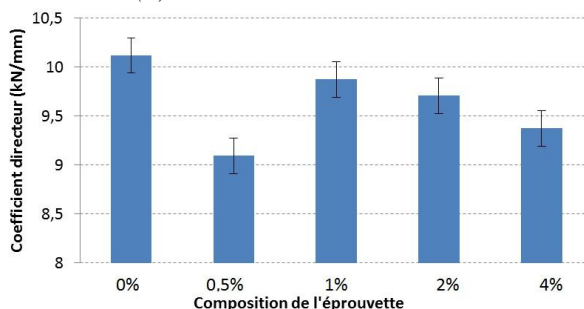
Figure 8: Force – Déplacement : Comparatif

La figure 9a présente les variations obtenues. Si les NTCs ne semblent pas avoir d'influence sur la force maximale, nous pouvons tout de même constater que pour le cas de 2% celle-ci est légèrement augmentée. Nous avons aussi relevé le coefficient directeur des courbes obtenues expérimentalement afin de quantifier l'influence de l'ajout de NTC sur le module d'Young du nanocomposite, Figure 9b.

Ainsi il est possible de voir sur la Figure 9b que le coefficient directeur des courbes expérimentales, autrement dit la partie élastique, est plus faible pour les éprouvettes contenant des nanotubes de carbone que les éprouvettes sans NTC. Toujours le même constat pour les éprouvettes à 0.5% de NTC qui montre une diminution des performances mécaniques.



(a) Force maximale vs. %NTC



(b) Coefficient directeur vs. %NTC

Figure 9: Effet des NTCs sur le comportement d'un composite carbone/époxy

Ainsi il est possible de conclure, que d'un point de vue expérimental, pour un essai de traction sur une plaque trouée (Open Hole Tension), l'apport des NTC n'est pas considérable.

4. Conclusion

Ce travail constitue la suite d'une série de travaux portant sur les composites à base des NTCs. Ce projet tourne autour de l'étude expérimentale et de la modélisation de l'endommagement de ces matériaux. Dans ce travail, nous avons d'abord caractérisé par analyse au microscope la microstructure des composites afin de contrôler la distribution et la géométrie des NTCs dans la structure composite. Nous nous sommes ensuite intéressés aux performances mécaniques en relation avec le pourcentage de NTC. Une faible concentration de NTC peut altérer considérablement le comportement mécanique des composites. Toutefois une amélioration a été obtenue dans le cas de fractions volumiques de NTCs plus faibles. Le seuil critique des fractions volumiques a été estimé entre 0,5% et 2% des composites textiles renforcés par des NTCs. Le degré de dispersion et d'agglomération du NTC a été observé dans le cas de 4% de NTC.

Références

- [1] Irshidat MR, Al-Saleh MH, Al-Shoubaki M. Using carbon nanotubes to improve strengthening efficiency of carbon fiber/epoxy composites confined RC columns. *Composite Structures* 2015; 15: 523-532.
- [2] Lafdi K, Matzek M. Carbon nanofibers as a nano-reinforcement for polymeric nanocomposites. *The 35th International SAMPE Technical Conference*, Dayton, Ohio. 1997.
- [3] Song YS, Youn JR. Modeling of effective elastic properties for polymer based carbon nanotube composites. *Polymer* 2006; 47: 1741-1748.
- [4] Yu MF, Lourie O, Dyer MJ, Moloni K, Kelly TF, Ruoff RS. Strength and breaking mechanism of multiwalled carbon nanotubes under tensile load. *Science* 2000; 287: 637-640.
- [5] Wagner HD, Lourie O, Feldman Y, Tenne R. Stress-induced fragmentation of multiwall carbon nanotubes in a polymer matrix. *Applied Physics Letters*. 1998; 72: 188-190.
- [6] Li F, Cheng HM, Bai S, Su G. Tensile strength of single-walled carbon nanotubes directly measured from their macroscopic ropes. *Applied Physics Letters* 2000; 77: 3161-3163.
- [7] Lau KT, Chipara M, Ling HY, Hui D. On the effective elastic moduli of carbon nanotubes for nanocomposite structures. *Composites Part B* 2004; 35: 95-101.
- [8] Song YS, Youn JR. Influence of dispersion states of carbon nanotubes on physical properties of epoxy nanocomposites. *Carbon* 2005; 43: 1378-1385.
- [9] Schadler LS, Giannaris SC, Ajayan PM. Load transfer in carbon nanotube epoxy composites. *Applied Physics Letters* 1998; 73: 3842-3844.
- [10] Allaoui A, Bai S, Cheng HM, Bai JB. Mechanical and electrical properties of a MWNT/epoxy composite. *Composites Science and Technology* 2002; 62: 1993-1998.