

# Proposition de sujet de thèse 2013 pour un contrat doctoral MESR

**Titre :** Etude du comportement de l'interface des fibres et tissus greffés de nanotubes de carbone

**Unité de recherche :** Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles

**Mots-clés :** tribologie, frottement, indentation, compression, usure, nanotubes de carbone, fibre.

**Directeurs de thèse :** Marie-Ange Bueno (PR)

**Co-directeur (s) :** Bernard Durand (PR), Brigitte Camillieri (MC) et Michel Turlonias (MC).

---

Ce projet s'inscrit dans le cadre de l'activité de l'équipe *Fibres et Interfaces* du Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles.

## Contexte du sujet

Le présent projet s'appuie sur le projet Nanograft-fibre (projet CONECTUS Maturation de Projets innovants).

Dans le projet Nanograft-fibre, des nanotubes de carbones (NTC) sont greffés sur des fibres (dans le cas précis carbone et verre mais ce n'est pas limitatif) au moyen d'une nouvelle méthode (dépôt de brevet en cours) permettant de mettre au point un procédé rapide et non confiné donc totalement industrialisable. Les applications visées sont les matériaux composites à destination de l'aéronautique, du ferroviaire et de l'automobile.

L'intérêt des nanotubes de carbone dans les composites a été déjà montré dans la littérature :

- Augmentation des propriétés mécaniques dans le plan et interlaminaires [1] par amélioration de l'adhésion fibre matrice,
- amélioration des propriétés de conductivités thermiques et électriques [2].

Dans le cadre du projet Nanograft-fibre, après obtention des fibres greffées puis les matériaux composites correspondant, des caractérisations physico-chimiques et mécaniques comme le comportement à la traction et mesure d'adhésion des NTC par pelage seront réalisées.

Néanmoins, le comportement d'adhésion tangentielle et de frottement est important à étudier et n'est pas intégré à ce projet. Il est en effet fondamental de comprendre l'origine de l'augmentation de la résistance à la délamination des composites à bases de NTC qui aujourd'hui est comprise à l'échelle macroscopique mais reste encore à déterminer à l'échelle des nanotubes, afin de pouvoir encore l'optimiser.

Par ailleurs, l'exploitation du potentiel de ces fibres et de leurs assemblages secs (non englobés dans une matrice) ne fait pas partie non plus du projet Nanograft à ce jour. Des applications multiples se dessinent comme par exemple dans les domaines des dispositifs implantables, de la filtration, ... Cependant ces applications nécessitent systématiquement des études tribologiques approfondies pour permettre de définir les limites et le potentiel des textiles de « frottement » tant dans des systèmes mécaniques, la filtration, les biomatériaux que pour les textiles dits intelligents [3-5].

Il apparaît donc fondamental d'étudier le comportement au frottement et la tenue à l'usure des NTC greffés sur les fibres. Mais il est tout aussi fondamental d'étudier la tenue à la compression de ces

fibres greffés et donc de leur greffons pour une utilisation sous forme de matériau souple. Que cette utilisation soit temporaire, car utilisée comme précurseur dans un processus de fabrication, ou que l'utilisation soit liée à l'utilisation intrinsèque des propriétés textiles « secs ».

L'Université de Haute Alsace est aujourd'hui précurseur dans le greffage de nanotubes par la méthode de la flamme-fibre. Elle devient précurseur dans la mise en oeuvre de matériaux composites à partir des fibres traitées du fait du soutien au projet Nanograft. Il est donc important pour l'UHA qu'elle reste leader dans ce domaine et en particulier dans son application sur les textiles secs.

### Description du sujet

Le travail concernera les fibres greffées de NTC ainsi que les assemblages de fibres (tissus) greffés avec étude du comportement au frottement, à l'usure et à la compression/indentation. Les fibres et tissus seront en carbone et verre E dans le cadre de cette étude pour être en cohérence avec le projet Nanograft.

Il s'agira d'utiliser tout le potentiel du LPMT en terme d'analyse tribologique sur matériaux fibreux pour relier le procédé et plus particulièrement les fibres/tissus greffés obtenus aux propriétés en frottement/usure et compression/indentation.

Le comportement tribologique des NTC incorporés dans un matériau composite [6,7] ou sous forme d'une forêt de NTC avec une orientation fixe par rapport au substrat [8,9] est largement étudié. Le comportement au frottement et en compression de nanotubes dont l'orientation, la longueur, les espèces et l'enchevêtrement sont aléatoires, greffés sur des fibres (cf. figure ci-dessous) est à ce jour peu étudié [10-12] :

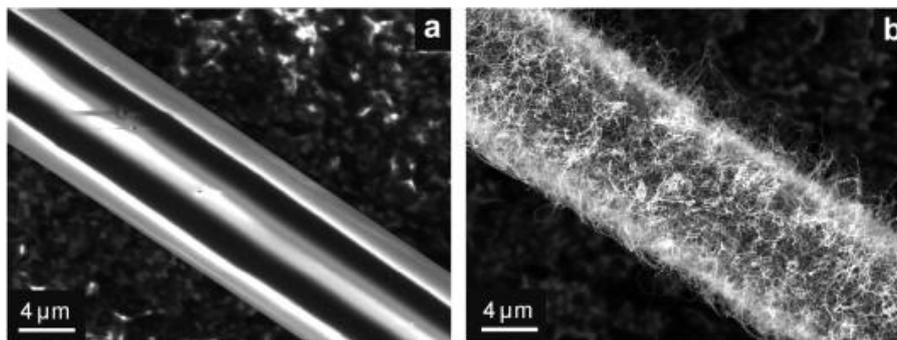


Figure: fibre a) sans traitement et désensimée et b) après greffage de NTC.

### Sur fibres greffées

L'étude du comportement au frottement et à l'usure sera réalisée sur les fils dans un premier temps et nous espérons ensuite sur les fibres à l'aide du nanotribomètre NTR<sup>2</sup> (CSM Instruments). Le frottement fibre/fibre et fibre/autre matériau sera étudié et relié à la morphologie des NTC (densité, nature, longueur, orientation, densité, espèces ...).

Des sollicitations cycliques seront réalisées avec observation pour identifier les mécanismes d'usure.

Si un comportement de type cœur/peau est mis en évidence, une étude complémentaire concernant le comportement des fils à la flexion des fils sera entreprise afin d'évaluer l'influence de ce type de structure sur la mise en oeuvre futur d'un tel fil.

La comparaison avec les fibres initiales non greffées sera évidemment indispensable.

Les modifications tribologiques inhérentes au greffage seront alors identifiées et analysées.

Le LPMT disposant d'un microscratch au sein de l'équipe *Propriétés Physiques et Mécanique des Revêtements*, ce matériel pourra également permettre d'analyser plus finement les forces d'adhérence entre les NTC et la fibre.

Par ailleurs, une demande d'AFM pour fibre ayant été faite dans le cadre du CPER, si ce matériel est au laboratoire durant ce travail, une étude du frottement à l'échelle nanométrique sera alors envisagée.

### Sur surfaces textiles greffées

L'analyse du comportement au frottement et à l'usure des tissus greffés sera réalisée à l'aide de dispositifs issus de développements propres au laboratoire (tribomètre textile et pilosimètre). [13,14].

La modification de l'interface d'une part du fait du traitement et d'autre part du fait de sollicitations en frottement répétées sera étudiée [15].

De même des cycles de charges décharges en compression/indentation seront réalisés [16].

Les limites et atouts de ces textiles seront alors déterminés et des domaines d'applications seront clairement identifiés.

### **Références bibliographiques**

- [1] S. Stork, H. Malecki, T. Shah, M. Zupan, Improvements in interlaminar strength: A carbon nanotube approach, *Composites : Part B* 42, 1508-1516, 2011.
- [2] Huang Y.L. *et al.*, Morphological electrical electromagnetic interference shielding and tribological properties of CNT PMMA composites, *Composites Science and Technology*, 69, 1991-1996, 2009.
- [3] Z. Spitalsky, D. Tasis, K. Papagelis, C. Galiotis, *Progress in Polymer, Science* 35, 357-401, 2010.
- [4] S. Khumpuanga, K. Miyake, T. Itoh, Characterization of a SWNT-reinforced conductive polymer and patterning technique for applications of electronic textile, *Sensors and Actuators A* 169 (2011) 378- 382.
- [5] Menghe Miao, Review Yarn spun from carbon nanotube forests: Production, structure, properties and applications, *Particuology* (in press) 2013.
- [6] Marc in het Panhuis, Jian Wu, Syed, A. Ashraf, Gordon G. Wallace, Conducting textiles from single-walled carbon nanotubes, *Synthetic Metals* 157 (2007) 358-362.
- [7] L.C. Zhang, I. Zarudi, K.Q. Xiao, Novel behaviour of friction and wear of epoxy composites reinforced by carbon nanotubes, *Wear*, 261 (2006) 806-811.
- [8] Zhang H. *et al.*, Aligned carbon nanotube/polymer composite film with anisotropic tribological behavior *Journal of Colloid and Interface Science* 395 (2013) 322-325.
- [9] Zhou M. *et al.*, Anisotropic interfacial friction of inclined multiwall carbon, nanotube array surface, *Carbon*, 50, (2012), 5372-5379.
- [10] Nicholas J. Ginga, Suresh K. Sitaraman, The experimental measurement of effective compressive modulus of carbon nanotube forests and the nature of deformation, *Carbon* 53, (2013) 237-244.
- [11] Wang C *et al.*, Theoretical prediction and experimental verification of pulling carbon nanotubes from carbon fiber prepared by chemical grafting method, *Composites: Part A* 50 (2013) 1-10.
- [12] Stepan V. Lomov, Larissa Gorbatikh, Ignaas Verpoest, A model for the compression of a random assembly of carbon nanotubes, *Carbon*, 49 ((2011) 2079-2091.
- [13] Bueno, M.-A., Durand, B. & Renner, M. Optical Characterization of the State of the Fabric Surfaces. *Optical Engineering*, 39, 1697-1703, 2000.

[14] Baussan, E., Bueno, M.-A., Derler, S. & Rossi, R. Experiments and modelling of skin-knitted fabric friction. *Wear*, 268, 1103–1110, 2010.

[15] Bueno, M.-A., Bocquet, R., Turlonias, M., Rossi, R. & Derler, S. Study of Friction Mechanisms of Hairy Textile Fabrics. *Wear*, Available online 2 April 2013.

[16] Camillieri, B., Bueno, M.-A., Rossi, R. & Derler, S. Brush model to predict the friction of hairy textile fabrics from indentation measurements. *Wear*, 296, 519-527, 2012.