

## **Homogénéisation des propriétés élastiques de structures composites tubulaires obtenues par enroulement de ruban**

### ***Homogenization of the elastic properties of tubular composite structures obtained by tape winding***

**T.Chazeau<sup>1,2,3</sup>, S.Essongue<sup>1,2</sup>, M.Montemurro<sup>1,2</sup> et A.Catapano<sup>1,2</sup>**

1 : Université de Bordeaux, CNRS, Bordeaux INP, I2M, UMR 5295  
F-33400, Talence, France  
e-mail : anita.catapano@bordeaux-inp.fr

2 : Arts et Metiers Institute of Technology, CNRS, Bordeaux INP, Hesam Universite, I2M, UMR 5295  
F-33400, Talence, France  
e-mail : marco.montemurro@ensam.eu

3 : OLLOW  
7 Av. de Guitayne, F-33610 Canéjan, France  
e-mail : thomas.chazeau@ollow-tech.com

### **Résumé**

Les industries modernes sont de plus en plus attirées par les matériaux composites en raison de leurs propriétés exceptionnelles et de leurs applications polyvalentes. Afin de faciliter un accès plus large à ces matériaux, de nouveaux procédés de fabrication continue économiques sont envisagés.

Le travail proposé se concentre sur l'étude du comportement mécanique des produits générés par un procédé innovant développé par 3DiTex/Ollow, en France. Spécifiquement conçu pour consolider des bandes unidirectionnelles (UD) en profils creux, la technologie Ollow repose sur un enroulement spécifique des bandes afin de produire des structures tubulaires composites à grande vitesse et à faible coût. L'objectif principal est de démocratiser l'utilisation des matériaux composites dans des applications courantes (trottinettes électriques, vélos, raquettes de tennis, etc.).

Cependant, tout comme le placement automatisé de fibres (AFP), l'enroulement des bandes dans ce procédé peut engendrer des singularités, notamment des gaps entre les bandes UD. Lors de la thermo-consolidation, ces gaps sont comblés par la résine liquide provenant des bandes. En conséquence, la fraction volumique de fibres varie continûment du centre de la bande vers l'extérieur (c'est-à-dire vers le gap). Ce phénomène impacte les propriétés équivalentes du matériau à l'échelle macroscopique.

De plus, cette variation entraîne une épaisseur de couche non homogène. Afin de déterminer les propriétés effectives de cette couche, une stratégie d'homogénéisation multi-échelle [1] est proposée au laboratoire I2M, prenant en compte une microstructure semi-réaliste caractérisée par la présence d'écarts et de zones de transition entre la bande et les régions riches en résine.

Cette stratégie repose sur deux étapes d'homogénéisation. Premièrement, la transition de l'échelle microscopique à l'échelle mésoscopique est réalisée à l'aide d'une méthode d'homogénéisation basée sur l'énergie de déformation appliquée à l'élément de volume représentatif (RVE) de la bande [2]. Grâce à des descripteurs statistiques [3] [4], les RVE microscopiques seront déterminés par un traitement d'images effectué sur des micrographies d'échantillons tubulaires [5]. Cette approche permet de prendre en compte l'agencement spécifique des fibres lié à la présence d'écarts à la plus petite échelle, avec plusieurs RVE suivant ce gradient de concentration. Deuxièmement, un modèle mésoscopique paramétré est généré pour déterminer les propriétés élastiques équivalentes de la couche unique, en intégrant l'impact des singularités du procédé. Ces résultats seront ensuite incorporés dans la formulation du modèle macroscopique, où le stratifié est traité comme une structure monolithique équivalente composée de différentes couches, dont l'épaisseur et les propriétés du matériau dépendent de la présence des écarts et des paramètres du procédé.

Pour démontrer l'efficacité de la stratégie proposée, les résultats seront comparés aux analyses numérique d'un tube complet à l'échelle mésoscopique.

## Références

- [1] Anita Catapano and Marco Montemurro. A multi-scale approach for the optimum design of sandwich plates with honeycomb core. part 1 : Homogenisation of core properties. *Composite Structures*, 118 :664–676, 2014.
- [2] Julien Yvonnet. *Computational Homogenization of Heterogeneous Materials with Finite Elements*, volume 258 p.29-32. Springer, 2019.
- [3] Wenzhi Wang, Yonghui Dai, Chao Zhang, Xiaosheng Gao, and Meiyong Zhao. Micromechanical modeling of fiber-reinforced composites with statistically equivalent random fiber distribution. *Materials*, 9, 7 2016.
- [4] J Zeman and M Šejnoha. Numerical evaluation of effective elastic properties of graphite fiber tow impregnated by polymer matrix. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 49 :69–90, 2001.
- [5] T. Kanit, S. Forest, I. Galliet, V. Mounoury, and D. Jeulin. Determination of the size of the representative volume element for random composites : Statistical and numerical approach. *International Journal of Solids and Structures*, 40 :3647–3679, 2003.