

**Simulation numérique du comportement mécanique d'un matériau d'âme à base de fibres enchevêtrées destiné à des applications aéronautiques**

**Numerical Simulation of the Mechanical Behavior of Core Material Based on Entangled Fibres Intended for Aeronautical Applications**

**Fadhel Chatti<sup>1</sup>, Christophe Bouvet<sup>1</sup>, Dominique Poquillon<sup>2</sup>, Guilhem Michon<sup>1</sup>**

1 : Institut Clément Ader, Université de Toulouse, ISAE-SUPERO,  
3 Rue Caroline Aigle, 31400 Toulouse, France  
e-mail : fadhel.chatti@isae.fr

2 : CIRIMAT, Université de Toulouse, INP-ENSIACET  
4 allée Emile Monso, BP 44362, 31432 Toulouse Cedex 4, France  
e-mail : dominique.poquillon@ensiacet.fr

Un nouveau matériau d'âme à base de fibres enchevêtrées et réticulées a été précédemment développé dans le but d'améliorer certaines propriétés des structures sandwich [1], et en particulier l'amortissement vibratoire [2]. Ce matériau fibreux peut être élaboré à partir de différents types de fibres tels que le carbone, le verre, l'acier inoxydable, l'aramide ou un mélange entre eux [1].

Cependant, son comportement mécanique et vibratoire doit être optimisé afin de l'utiliser dans le domaine aérospatial. Plusieurs paramètres morphologiques entrent en jeu lors de sa fabrication. L'objectif de ce travail de recherche est de développer un modèle numérique permettant de mieux comprendre le comportement mécanique de ce matériau enchevêtré-réticulé. La modélisation numérique est basée sur le code de calcul par éléments finis ABAQUS pour simuler et expliquer les boucles d'hystérésis observées expérimentalement puis pour concevoir une architecture générant une bonne rigidité mécanique ainsi que de bonnes propriétés d'amortissement. La géométrie numérique du réseau de fibres s'appuie sur les données morphologiques du matériau réel [3].

Tout d'abord, le comportement dissipatif d'un volume élémentaire représentatif est étudié en cisaillement (Fig. 1-a). Les résultats numériques montrent une bonne corrélation avec les données expérimentales (Fig. 1-b). Elles prouvent que la dissipation d'énergie est due principalement au frottement entre fibres. Le modèle numérique réussit à capter le changement de la forme d'hystérésis lors du changement de l'amplitude de chargement ; ce qui est en bon accord avec les observations expérimentales de Piollet et al. [2]. Le modèle numérique permet à la fois de confirmer la non-linéarité géométrique du comportement du matériau pour de petites déformations et de comprendre les causes morphologiques de ce changement de forme [4].

Si le matériau enchevêtré réticulé présente un bon amortissement vibratoire par rapport aux matériaux d'âme couramment utilisés dans l'industrie [2], il ne peut pas encore être utilisé dans des applications structurales vu ses faibles caractéristiques mécaniques. Des simulations numériques ont été effectuées dans le but d'étudier l'effet de différents paramètres morphologiques, tels que la distance moyenne entre jonctions, la fraction volumique, le type de fibre et la distribution des orientations de fibres [5]. La Fig. 2-a montre que, pour différentes distributions des orientations de fibres (Fig. 2-b), le module de cisaillement peut être amélioré en diminuant la distance moyenne entre jonctions. La relation entre le module de cisaillement et la distance moyenne entre jonctions est une fonction puissance d'exposant

---

-3/2. Comparé à la valeur -2 proposée par Markaki et Clyne [6], la valeur de l'exposant résultant de nos simulations est dans le bon ordre de grandeur. Ce travail numérique permet de constituer une base robuste pour l'amélioration du procédé de fabrication du matériau enchevêtré-réticulé.

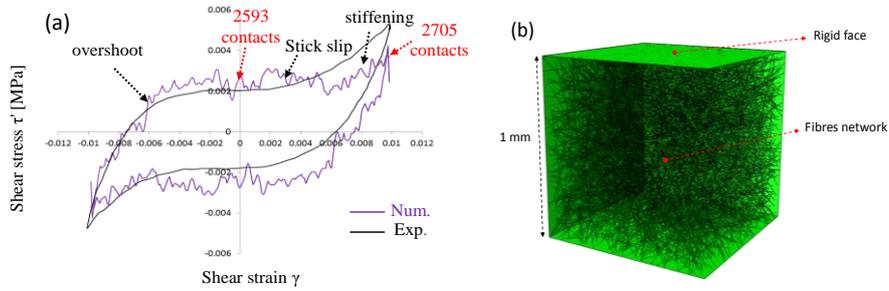


Fig. 1. (a) Analyse et comparaison entre l'hystérésis expérimentale et numérique définissant le comportement dissipatif du matériau enchevêtré réticulé (b) Surfaces rigides en vert entourant la géométrie et empêchant les fibres de sortir de la boîte au cours du chargement.

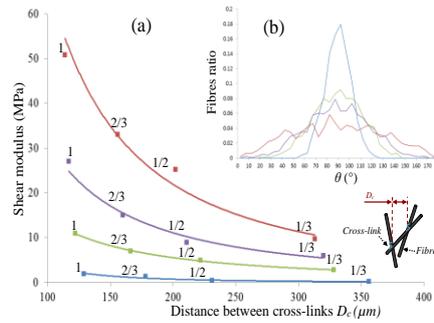


Fig. 2. (a) Effet de la distance moyenne entre jonctions sur la rigidité en cisaillement pour (b) différentes distributions des orientations de fibres et différentes proportions de contacts pontés (un tiers, un demi, deux tiers et un).

### Références

- [1] L. Mezeix, D. Poquillon, C. Bouvet, Entangled cross-linked fibers for an application as core material for sandwich structures part I: experimental investigation, Applied Composite Materials (2015) 23 (1) 71-86.
- [2] E. Piolet, D. Poquillon, G. Michon, Dynamic hysteresis modelling of entangled crosslinked fibres in shear, Journal of Sound et Vibration (2016) 383, 248-264.
- [3] F. Chatti, C. Bouvet, D. Poquillon, G. Michon, Numerical modelling of shear hysteresis of entangled cross-linked carbon fibres intended for core material. Computational Materials Science (2018) Vol. 155, pp. 350-363
- [4] F. Chatti, D. Poquillon, C. Bouvet, G. Michon, Numerical modelling of entangled carbon fibre material under compression, Computational Materials Science (2018) Vol. 151, pp. 14-24
- [5] F. Chatti, C. Bouvet, D. Poquillon, G. Michon, Numerical analysis of shear stiffness of entangled cross-linked fibrous material, Special Issue International Journal of Solids and Structures related to International workshop in honor of Dominique Jeulin (soumis).
- [6] A. E. Markaki, et T. W. Clyne, Mechanics of thin ultra-light stainless steel sandwich sheet material - part I. stiffness. Acta Materialia (2003) 51 (5) 1341-1350.