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

Fadhel Chatti^{*1,2}, Guilhem Michon¹, Dominique Poquillon², and Christophe Bouvet¹

¹Institut Clément Ader – Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace (ISAE) – France

²Centre inter-universitaire de recherche et d'ingénierie des matériaux – Institut National Polytechnique de Toulouse - INPT – France

Résumé

Un 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 les fibres de carbone, de verre, d'acier inoxydable, d'aramide ou d'un mélange de celles-ci [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 : la fraction volumique de fibres, la distribution de leur orientation et la proportion de contacts collés. Nous avons développé un modèle numérique permettant de mieux comprendre les relations entre la morphologie de l'assemblage, les propriétés à l'échelle de la fibre et le comportement mécanique macroscopique 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. Dans cette première étape, la géométrie du réseau de fibres numérique s'appuie sur les données morphologiques du matériau réel [3]. À terme, le modèle permettra d'optimiser l'architecture en fonction des propriétés visées : rigidité en cisaillement, en compression, amortissement vibratoire.

Sur un volume élémentaire représentatif sollicité en cisaillement cyclique, les résultats numériques sont en bonne corrélation avec les données expérimentales [2]. Ils prouvent que la dissipation d'énergie est due principalement au frottement entre fibres. Le modèle numérique réussit à capter le changement de la forme de l'hystérésis lors de l'augmentation de l'amplitude du chargement. Le modèle numérique permet à la fois de confirmer la non-linéarité du comportement du matériau pour de petites déformations et de comprendre les mécanismes en jeu [4].

Des simulations numériques ont été ensuite effectuées dans le but d'étudier l'effet de différents paramètres morphologiques (distance moyenne entre jonctions, la fraction volumique de fibres, la distribution des orientations des fibres) mais aussi l'effet de la rigidité des fibres [5]. Pour toutes les distributions d'orientation des fibres testées, le module de rigidité peut être amélioré en diminuant la distance moyenne entre jonctions. La relation entre ce module et

*Intervenant

la distance moyenne entre jonctions est une fonction puissance d'exposant $-3/2$. Comparé à la valeur -2 proposée par Markaki et Clyne [6], cette valeur est logiquement moindre car nos conditions aux limites à chaque jonction sont plus souples. D'autre part, toute chose égale par ailleurs, la rigidité (en compression comme en cisaillement) du matériau dépend linéairement de la fraction volumique de fibres.

L. Mezeix, D. Poquillon, C. Bouvet, Entangled cross-linked fibers for an application core material for sandwich structures part I: experimental investigation, *Applied Composite Materials* (2015) 23 (1) 71-86.

E. Piollet, D. Poquillon, G. Michon, Dynamic hysteresis modelling of entangled crosslinked fibres in shear, *Journal of Sound et Vibration* (2016) 383, 248-264.

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

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

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).

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.

Mots-Clés: Matériaux d'âme, Fibres, Hystérésis, Méthode des éléments finis, Dissipation d'énergie