

Simulation numérique du comportement de milieux fibreux enchevêtrés

D. Durville¹

¹ LMSSMat, Ecole Centrale Paris, France, damien.durville@ecp.fr

Résumé — Les milieux fibreux enchevêtrés, considérés comme des assemblages de fibres ou de fils, présentent un comportement macroscopique contrôlé en grande partie par les interactions de contact-frottement développées entre leurs constituants aux différentes échelles. Une approche de simulation de ces milieux par éléments finis est proposée. La prise en compte des nombreux contacts caractérisant ces milieux à l'aide de modèles permettant la mise en œuvre d'algorithmes efficaces est au cœur de cette approche. Différentes applications sont données en illustration.

Mots clés — contact-frottement, modèles de poutres, textiles, composites.

1 Introduction

Des assemblages de fils ou de fibres enchevêtrés, métalliques, textiles ou synthétiques, sont utilisés dans de nombreuses applications industrielles, en particulier comme renforts de structures composites. La prédiction du comportement mécanique de telles structures demande d'approcher de manière précise les phénomènes qui interviennent à l'échelle des fibres élémentaires et de leurs interactions, aussi bien pour caractériser leur comportement macroscopique, rendu non-linéaire en raison de ces interactions, que pour aborder les effets possibles d'endommagement à l'échelle locale.

La modélisation du comportement de telles structures demande un effort particulier au niveau de la prise en compte des interactions de contact-frottement et de la mise au point d'un pilotage adéquat des conditions aux limites aux extrémités des fibres considérées.

2 Modélisation des interactions de contact-frottement

Les milieux enchevêtrés présentent une grande densité de contact entre poutres. La prise en compte des contacts entre poutres s'appuie bien souvent sur la recherche des minimums de distance entre poutres concernées [1]. Si une telle approche est pertinente pour des contacts entre poutres formant des angles importants, elle apparaît inadaptée dans le cas de poutres quasi-parallèles. Une approche plus générale pour la détection géométrique des contacts a été développée, s'appuyant sur le repérage de zones de proximité au sein de l'assemblage de fibres. Une géométrie intermédiaire, définie comme moyenne des portions de poutres constituant la zone de proximité est ensuite introduite. Des éléments de contact discrets, associant des couples de particules matérielles prédites entrer en contact sont ensuite générés à partir de cette géométrie intermédiaire.

Les conditions cinématiques de non-pénétration formulées au niveau des éléments de contact sont traitées par une méthode de pénalisation régularisée, avec une adaptation du coefficient de pénalisation au niveau de chaque zone de proximité. Cette régularisation quadratique, ainsi que l'adaptation du coefficient de pénalisation, destinée à contrôler la pénétration maximale pour chaque zone de proximité, sont des ingrédients essentiels pour assurer la convergence des algorithmes de résolution du contact.

3 Pilotage des conditions aux limites

Le pilotage des conditions aux extrémités des fibres est une problématique délicate dans la mesure où on souhaite pouvoir laisser à ces extrémités la possibilité de se réarranger, tout en leur imposant globalement des efforts ou des déplacements. L'introduction de corps rigides dans la modélisation, et la

formulation de conditions aux limites en moyenne permet de satisfaire à ce double besoin. Les extrémités des fibres peuvent alors être contrôlées selon leurs différents niveaux d'organisation en vue de pouvoir simuler la mise en place de ces structures et leur appliquer des chargements réalistes.

4 Applications

Dans la plupart des applications impliquant des fibres textiles, la géométrie initiale de la structure étudiée, qui résulte du procédé d'assemblage de ces fibres, est a priori inconnue. Une première phase de simulation est alors nécessaire pour calculer cette configuration initiale à partir des contraintes de positionnement entre les constituants imposées par le procédé de fabrication (tissage ou tressage) [2, 3]. À partir de cette configuration initiale, l'identification du comportement de l'échantillon considéré sous différents types de sollicitations peut être effectuée (Figure 1).

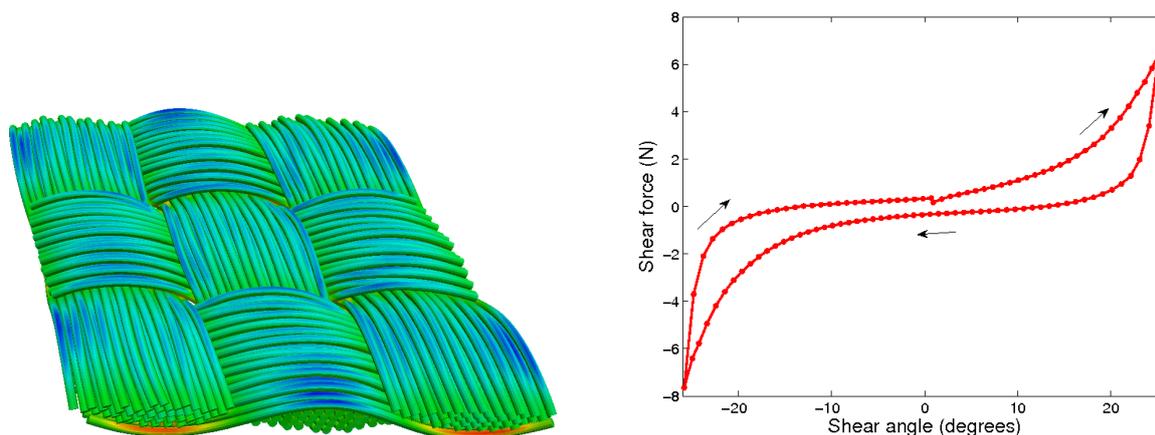


FIG. 1 – Simulation d'un cisaillement alterné sur un échantillon de tissé

Des simulations portant sur la réalisation de nœuds sont conduites (Figure 2), notamment pour tester les possibilités de l'approche dans les situations d'auto-contact.

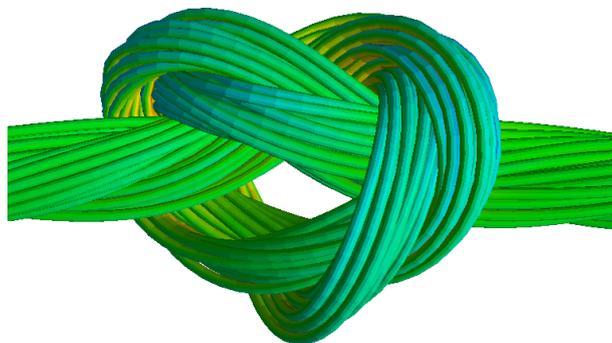


FIG. 2 – Réalisation d'un nœud à partir d'un fil torsadé de 48 fibres

Références

- [1] P. Litewka. *Finite Element Analysis of Beam-to-Beam Contact*, Lecture Notes in Applied and Computational Mechanics, Springer, 2010.
- [2] D. Durville. *A Finite Element Approach of the Behaviour of Woven Materials at Microscopic Scale*, Mechanics of Microstructured Solids, Lecture Notes in Applied and Computational Mechanics, Springer, pp. 39-46, 2009.
- [3] D. Durville. *Simulation of the mechanical behaviour of woven fabrics at the scale of fibers*, International Journal of Material Forming, Springer, pp. 1241-1251, 2010.
- [4] H. Bajas, D. Durville, D. Ciazynski, A. Devred. *Numerical Simulation of the Mechanical Behavior of ITER Cable-In-Conduit Conductors*, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, pp. 1467-1470, 2010.