

Master Aéronautique et Espace, parcours TAT (Transports Aéronautiques et Terrestres)

Laboratoire : Université of Victoria (Canada) et/ou Institut Pprime (UPR CNRS 3346), site ISAE-ENSMA

Responsables du stage : C. Nadot-Martin (Pprime), S. Malek (Université de Victoria, Canada)

Financement : indemnités du Laboratoire

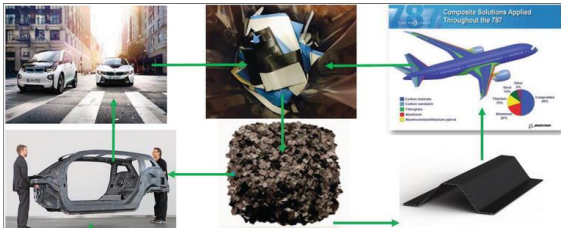


Figure 1 : Réutilisation de déchets en composites
<https://www.intechopen.com/chapters/62181>

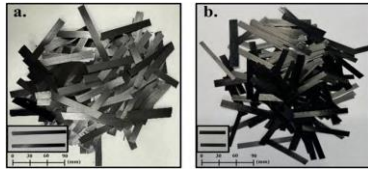


Figure 2 : Copeaux longs a), courts b), [2]

Sujet de PFE-Master

Modélisation multi-échelle des propriétés élastiques de panneaux composites fabriqués à partir de déchets en composites à fibres de carbone

Application et Débouchés : Optimisation des composites élaborés à partir de déchets (fraction volumique des copeaux, stratégie d'empilement) et du procédé d'élaboration pour atteindre les propriétés mécaniques requises dans les secteurs aéronautique et automobile.

Outils et connaissances à utiliser : Mécanique des matériaux et des structures, calculs par Eléments Finis

Nature du travail : Modélisation multi-échelle et simulation numérique avec Abaqus.

Poursuite en thèse : oui.

Motivation & Opportunité

De nos jours, de grands volumes de déchets de composites préimprégnés carbone/époxy sont générés : Boeing et Airbus produisent chacun ~ 450 000 kg/an de déchets préimprégnés [1,2]. Ces déchets peuvent être par exemple transformés pour être réutilisés sous forme de panneaux composites à copeaux orientés (Composite Oriented Strand Board (COSB)). A cet effet, ils sont découpés en « copeaux » rectangulaires et moulés par compression. Les COSB présentent une rigidité et une résistance intéressantes pour les applications industrielles. Par exemple, les composites moulés à copeaux longs discontinus dans des matrices thermoplastique [2] ou thermodurcissable [3, 4], sont déjà exploités dans les supports/portes d'avion et suscitent un intérêt grandissant des industriels pour une conception robuste de ces nouveaux produits à faible coût. Il a été montré que la microstructure et les propriétés mécaniques de ces composites sont régies par l'empilement des copeaux et leur rapport de forme [1-4]. Ces matériaux présentent par ailleurs une porosité se situant entre 2,5% et 10% avec des morphologies variées de vides [1].

Dans ce contexte, une modélisation qui prend explicitement en compte les propriétés des copeaux, les statistiques d'orientation de ces copeaux et la porosité est essentielle à une bonne conception des structures utilisant des COSB. Elle permettrait d'accroître la réutilisation des déchets de composites dans les secteurs aéronautique et automobile. Il convient de noter qu'une telle modélisation pourrait aussi être exploitée pour les composites à copeaux de bois lamellés (panneaux de revêtement et grandes poutres [5, 6]) utilisés dans le secteur du bâtiment.

Objectif

Étendre et valider une approche fondée sur l'homogénéisation pour prédire les modules de Young (E_x , E_y , E_z) ainsi que les modules de cisaillement dans le plan et hors plan d'un COSB fabriqué à partir de déchets en composites à fibres de carbone (UD ou tissés), ou de copeaux de bois, en fonction :

1. des propriétés élastiques des copeaux (issus de l'UD parent, d'un tissu, ou de bois...)
2. de la distribution d'orientation des copeaux. [La porosité ne sera pas considérée dans le stage].

Méthodologie

L'étudiant(e) travaillera à l'extension d'une approche multi-échelle [5,6] initialement proposée pour les composites à copeaux de bois lamellés dans le cadre d'une collaboration entre l'Institut Pprime et l'Université de Victoria (Canada). La stratégie multi-échelle en question utilise 1/ une approche d'homogénéisation, appelée approche morphologique, pour estimer les propriétés effectives d'un ensemble de copeaux (cellule unitaire), puis 2/ une simulation EF utilisant ces propriétés pour estimer la réponse d'une structure de grande taille constituée d'un assemblage de nombreuses cellules. Par exemple, la rigidité en flexion d'une poutre en composite à copeaux de bois lamellés a pu être estimée avec cette approche en prenant en compte pour la première fois pour ces matériaux la présence de la résine entre les copeaux (voir [6]). Dans les travaux passés, l'approche morphologique a été utilisée pour modéliser des cellules, qualifiées de régulières, c'est-à-dire avec des copeaux rectangulaires positionnés parallèlement les uns aux autres. Dans ce projet, les cellules intégreront des copeaux d'orientations matérielles diverses, en plus grand nombre et surtout décalés les uns par rapport aux autres pour refléter la distribution spatiale complexe matériaux fabriqués à base de déchets. À la fin, les résultats pour un panneau en flexion de cette modélisation avancée seront comparés à ceux de la précédente version et aux données expérimentales pour démontrer l'apport de la méthodologie étendue.

1. Jin, B.C., Li, X., Jain, A., González, C., Llorca, J., Nutt, S., 2017. Optimization of microstructures and mechanical properties of composite oriented strand board from reused prepreg. *Compos. Struct.* 174, 389–398. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.05.002>
2. Özbek, Y., Al-Nadhari, A., Eskizeybek, V., Yıldız, M., Şaş, H.S., 2025. Influence of strand size and morphology on the mechanical performance of recycled CF/PEKK composites: Harnessing waste for aerospace secondary load-bearing applications. *Compos. Part B Eng.* 296, 112232. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2025.112232>
3. Howell, D.D., Fukumoto, S., 2016. Compression molding of long chopped fiber thermoplastic composites. CCS Composites, TenCate Advanced Composites, Fairfield, CA, USA. Technical paper.
4. Didonè, M., Van Lear, R., Stenning, D.C., Jack, D., Kravchenko, O.G., Kravchenko, S.G., 2025. Computational modeling of low-velocity impact response in long discontinuous fiber composite with statistical validation. *Compos. Part B Eng.* 305, 112708. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2025.112708>
5. Malekmohammadi, S., Nadot-Martin, C., Tressou, B., Dai, C., Vaziri, R., 2019. Micromechanical modeling of effective orthotropic elastic and viscoelastic properties of parallel strand lumber using the morphological approach. *J. Eng. Mech.* 145(9), 04019066. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EM.1943-7889.0001639](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EM.1943-7889.0001639)
6. Gereke, T., Malekmohammadi, S., Nadot-Martin, C., Dai, C., Ellyin, F., Vaziri, R., 2012. Multiscale stochastic modeling of the elastic properties of strand-based wood composites. *J. Eng. Mech.* 138(7), 791–799. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EM.1943-7889.0000386](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EM.1943-7889.0000386)

Pour tout renseignement complémentaire, n'hésitez pas à prendre contact : Carole Nadot.Martin
Email : carole.nadot@ensma.fr