

Invitation à la soutenance de thèse

DEVELOPPEMENT DE MATERIAUX COMPOSITES AUXETIQUES POUR DES PROPRIETES AU CHOC AMELIOREES

Eloi Facon

Le 12 décembre 2025 à 14h00

ONERA Lille (salle Kampé)

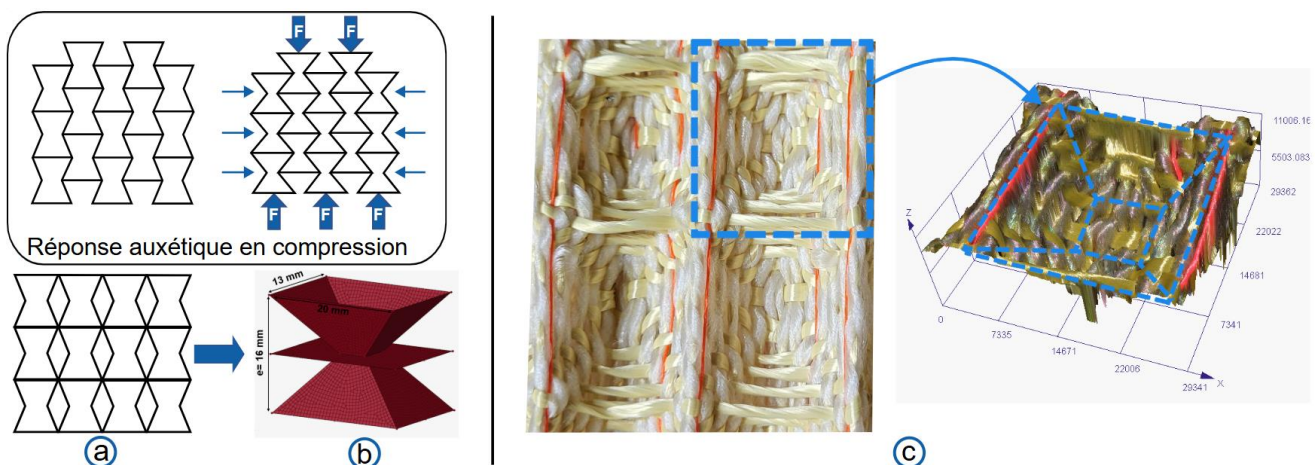
Devant le jury composé de :

Daniel Coutellier	Professeur des universités UPHF	Examineur
Emmanuelle Vidal-Sallé	Professeure des universités INSA Lyon	Rapporteur
Peng Wang	Professeur des universités ENSISA Mulhouse	Rapporteur
François Boussu	Professeur des universités ENSAIT, Université de Lille	Directeur de thèse
Eric Deletombe	Directeur de recherche ONERA Lille	Co-directeur de thèse
François Rault	Maître de conférences ENSAIT, Université de Lille	Encadrant

Résumé

Les matériaux composites, connus pour leur rapport performance mécanique/masse très intéressant, sont de plus en plus utilisés en aéronautique et défense. Lors de leur fonctionnement, les avions commerciaux sont exposés à divers risques d'impacts. C'est le cas des collisions aviaires qui peuvent survenir sur les bords d'attaque, l'empennage, la casquette ou le radome. Au regard de cette problématique, les matériaux auxétiques, à coefficient de Poisson négatif, semblent offrir un potentiel prometteur en termes de résistance aux impacts grâce à leur capacité à se densifier sous chargement de compression, et à augmenter leur résistance à l'indentation et leur capacité d'absorption d'énergie. L'usage croissant des matériaux composites à matrice organique dans le domaine aérospatial nous amène naturellement à la question de savoir s'il serait possible d'en développer qui présenteraient la propriété d'auxétisme, ce qui permettrait, en utilisant des fibres de para-aramide en particulier, de cumuler les bénéfices en termes d'absorption d'énergie de ces deux familles de matériaux. La partie « élaboration » des travaux de thèse repose ainsi sur l'étude de transférabilité d'une architecture auxétique bien connue, sous une forme composite, ce qui débute par une réflexion multi-échelle faisant intervenir toutes les étapes de la chaîne de production textile. Un fil architecturé est d'abord conçu pour permettre le tissage d'un « préimprégné thermoplastique ». Une armure permettant l'obtention d'une géométrie auxétique est ensuite développée pour permettre le tissage en forme 3D d'une préforme textile. Enfin, un montage de thermocompression dédié est mis au point pour réaliser la consolidation du matériau composite. La vérification de la géométrie obtenue est opérée à travers une analyse profilométrique. Une fois les échantillons matière obtenus, le travail de caractérisation de la réponse mécanique du composite peut être envisagé. Celui-ci nécessite la définition d'un protocole expérimental spécifique, en raison des limites des méthodes d'observation traditionnelles face à la complexité topologique et géométrique du matériau. Pour ces mêmes raisons, des essais de traction dans le plan

du matériau sont privilégiés dans un premier temps, car ils permettent, comparativement à des essais de compression dans l'épaisseur, d'exploiter à meilleur escient (en particulier au regard du développement du futur modèle de simulation numérique) les capacités de la technique de stéréocorrélation d'images numériques, qui permet de mesurer les champs de déplacement de l'éprouvette dans les trois directions de l'espace. Cette méthode d'observation qualitative et quantitative, particulièrement riche, s'avère décisive dans l'analyse fine et la compréhension des phénomènes locaux de déformation du matériau, que ce soit à l'échelle d'une cellule auxétique élémentaire, ou à celle d'un motif périodique. L'analyse expérimentale est naturellement poursuivie par un exercice de modélisation numérique par éléments finis. Une structure composite idéalisée est ainsi virtualisée, partant des observations géométriques et profilométriques des échantillons produits. Le modèle ainsi réalisé, une fois recalé par rapport aux résultats expérimentaux obtenus lors des essais de traction dans le plan, permet d'étudier ce vers quoi un composite auxétique de qualité aéronautique pourrait tendre. Grâce à cela, la problématique de l'absorption d'énergie lors d'un impact aéronautique de type aviaire (qui repose sur la réponse d'un matériau composite auxétique en compression selon l'épaisseur) peut enfin être adressée numériquement, en intégrant dans le modèle une loi de comportement fortement non-linéaires, ainsi que sa dépendance à la vitesse de sollicitation.



Etapes du développement de la structure auxétique tissable : a) changement de la disposition des cellules dans la structure pour la rendre tissable, b) simulation d'une sollicitation de compression sur une structure tissable, c) tissage et métrologie de la structure avant la consolidation du composite.

Mots clés

Matériaux composites, architectures textiles auxétiques, matériaux auxétiques, crash & impact, absorption d'énergie