

# PRÉVISION DE L'ENDOMMAGEMENT DE STRUCTURES COMPOSITES STRATIFIÉES EN PRÉSENCE DE SINGULARITÉS GÉOMÉTRIQUES

Jérémy Germain <sup>a</sup>, Johann Rannou <sup>a</sup>, Frédéric Laurin <sup>a</sup>, Dominique Martini <sup>b</sup>

<sup>a</sup> ONERA/DMAS - Université Paris Saclay, jeremy.germain@onera.fr, johann.rannou@onera.fr, frederic.laurin@onera.fr;

<sup>b</sup> Dassault Aviation, France, dominique.martini@dassault-aviation.com

**Mots-clés :** endommagement, composites stratifiés, plaques trouées.

## Résumé

*L'utilisation des composites stratifiés de plis unidirectionnels pour la réalisation de structures primaires s'avère être une solution choisie par les industriels pour permettre l'allègement des structures. Le dimensionnement des structures présentant des singularités géométriques repose usuellement sur des critères établis à partir de vastes campagnes expérimentales de traction sur plaques perforées et dont le domaine de validité reste confiné au voisinage des configurations testées. Plusieurs modèles d'endommagement se basant sur la description de dégradations observées expérimentalement ont déjà été proposés dans les laboratoires de recherche [1, 2] dans le but de proposer des outils permettant la rationalisation des campagnes d'essais et l'établissement par les industriels de critères de dimensionnement. Néanmoins, les procédures d'identification associées à ces approches demeurent complexes et le manque de robustesse de ces modèles, limitent leur transfert dans l'industrie. C'est dans ce contexte que l'ONERA et Dassault Aviation ont lancé en 2016 le projet de recherche MARCOS.*

*Dans le but de pouvoir prévoir l'endommagement de structures composites sur un grand nombre de plaques perforées représentatives des configurations industrielles sur un matériau de dernière génération, un modèle d'endommagement continu formulé à l'échelle du pli a été développé. Ce modèle se base sur celui développé à l'ONERA dans le cadre du World Wide Failure Exercise III (WWFE-III) [2]. Ce travail porte sur la simplification de l'approche déjà proposée pour obtenir une modélisation numériquement robuste et fournir un protocole clair d'identification du modèle, qui sont des points essentiels pour utiliser des outils avancés de modélisation dans un contexte industriel.*

*Ce modèle est toujours basé sur une loi visco-élastique non-linéaire endommageable. La visco-élasticité non-linéaire est utilisée pour décrire les effets de vitesses et les comportements non-linéaires avant endommagement auxquels sont sujets les composites à matrice organique. L'originalité de cette approche réside dans le choix des variables d'endommagement, qui correspondent à une densité de fissure et au taux de microdélaminage en pointe de fissure. Ces quantités sont observables et mesurables expérimentalement. L'effet de l'épaisseur des plis sur les propriétés mécaniques est prise en compte dans le modèle. En effet, il a été observé expérimentalement que les résistances d'un pli et sa cinétique d'endommagement étaient dépendantes de son épaisseur [3, 4]. Enfin, le couplage entre les plis est assuré par des interfaces et un modèle de zone cohésive, permettant de simuler l'apparition et la propagation des délaminages et de traduire leurs effets sur le comportement à rupture des stratifiés perforés. Ce modèle a été identifié et validé sur une base expérimentale d'essais sur plaques lisses et comparé sur plaque perforée avec l'approche déjà proposée par l'ONERA [2]. Les temps de calculs se sont retrouvés fortement réduits avec cette nouvelle approche. La validation de l'approche au travers du dialogue essais/calcul est en cours sur des configurations industrielles de plaques perforées, où différentes séquences d'empilements, diamètres de trous et ratio diamètre de trou sur largeur de plaque sont utilisés.*

## Références

- [1] E. Abisset. *Un mésomodèle d'endommagement des composites stratifiés pour le virtual testing : identification et validation* Thèse, Ecole nationale supérieure de Cachan, 2012.
- [2] Laurin, F., Carrere, N., Huchette, C., and Maire, J. F. A multiscale hybrid approach for damage and final failure predictions of composite structures. *Journal of Composite Materials*, 47(20-21), 2713-2747, 2013.
- [3] Parvizi, A and Garrett, KW and Bailey, JE *Constrained cracking in glass fibre-reinforced epoxy cross-ply laminates* *Journal of Materials Science*, 13 (1978) 195-201.
- [4] Chang, Fu-Kuo and Chen, Ming-Huei *The in situ ply shear strength distributions in graphite/epoxy laminated composites* *Journal of Composite Materials*, 21 (1987) 708-733.