

Modélisation de la cinématique de fissuration à l'échelle mésoscopique des composites tissés

Guillaume Fourrier^{a,b,c}, Christian Fagiano^a, Martin Hirsekorn^a, Vincent Chiaruttini^a, Alain Rassineux^b, Emmanuel Baranger^c

a :ONERA-MAS, Université Paris Saclay

Email : guillaume.fourrier@onera.com

b : Laboratoire Roberval, Sorbonne Universités, Université de Technologie de Compiègne

c : LMT, ENS-Cachan, Université Paris-Saclay

Résumé :

Les matériaux composites à renfort tissé présentent une grande variété de configurations (type et architecture de renfort), et donc de propriétés mécaniques, ce qui permet d'élargir de plus en plus leur champ d'application. L'utilisation de la modélisation à l'échelle mésoscopique permet de représenter finement l'architecture du renfort de ces matériaux et c'est donc l'échelle privilégiée pour modéliser les mécanismes d'endommagement qui ont une influence non-négligeable sur les propriétés mécaniques macroscopiques du matériau. On observe des fissures transverses au sein des torons, des décohésions entre torons ou entre torons et matrice et (selon l'architecture du renfort) des fissures de matrice.

La nature de ces endommagements a guidé le choix d'une modélisation discrète de l'endommagement à l'échelle mésoscopique qui a été préférée à des modèles d'endommagement continu comportant des zones avec un endommagement dilué. Cette approche discrète consiste à modifier localement le maillage afin d'y introduire l'endommagement [1-3]. A. Doitrand [3-4] a mis en œuvre à l'ONERA une approche discrète basée sur la mécanique de la rupture incrémentale. Elle repose sur l'utilisation d'un critère couplée en énergie et en contrainte [5] afin de déterminer la configuration à l'amorçage d'une fissure [3]. La propagation des fissures est modélisée grâce à la mécanique de la rupture incrémentale [4]. L'utilisation de cette modélisation a nécessité la mise en place d'hypothèses assez fortes telles que la géométrie des fissures et des décohésions ou une propagation symétrique de la fissure afin de limiter les coûts de calculs.

Afin de discuter de la validité des hypothèses simplificatrices utilisées une modélisation de l'endommagement à l'aide de modèles de zones cohésives a été réalisée. Des éléments cohésifs ont été insérés à la place de la fissure sur toute la longueur du toron afin de permettre une ouverture progressive de celle-ci. Cette approche a mis en évidence l'influence de l'architecture du renfort sur la propagation de l'endommagement à travers une évolution non symétrique de la fissure autour de la zone d'amorçage et au travers de l'épaisseur du toron (figure 1a). Sur la figure 1a est présenté le déplacement des nœuds à l'interface Δ normalisé sur le déplacement à rupture Δ_f . L'utilisation du modèle cohésif a également permis d'observer la mixité des modes d'ouverture de la décohésion (modes I et II) qui n'avaient pas été prise en compte avec la mécanique de la rupture incrémentale. Il a aussi été observé une propagation différente des décohésions aux faces supérieures et inférieures du toron (voir figure 1b, 1c) en correspondance du front de fissure. Ces phénomènes ont été négligés par les hypothèses simplificatrices appliquées dans un premier temps dans les travaux sur la mécanique de la rupture incrémentale [3-4].

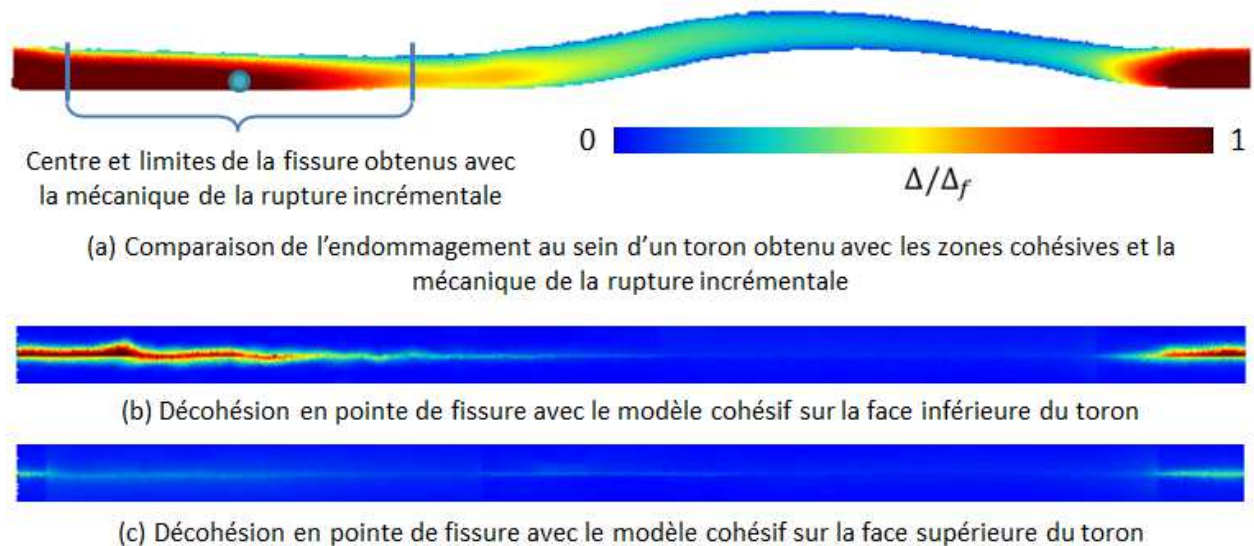


Figure 1. : Déplacements normalisés des nœuds de l'interface obtenus avec le modèle cohésif pour un niveau de chargement correspondant à l'amorçage de l'endommagement prévu avec la mécanique de la rupture incrémentale.

Les deux modèles sont tout de même assez différents intrinsèquement. La présence notamment d'une process zone au sein du modèle cohésif rend l'apparition des endommagements plus progressive, ce qui régularise les phases de propagation instable de certaines fissures prévues avec la mécanique de la rupture incrémentale. Pour une comparaison plus quantitative, il est nécessaire de réduire la taille de la process zone, ce qui, à iso-énergie de rupture, est possible seulement en augmentant la contrainte d'amorçage dans les modèles cohésifs. Il est également nécessaire de mettre en œuvre une comparaison des énergies dissipées.

Mots Clés : Modélisation de l'endommagement, composite tissé, échelle mésoscopique

Références :

- [1] B. H. Le Page, F. J. Guild, S. L. Ogin, P. A. Smith, Finite Element Simulation of Woven Fabric Composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 2004; 35(7): 861–872
- [2] G. Couégnat, Multiscale Modeling of the Mechanical Behavior of Woven Composite Materials. Thèses, Université Sciences et Technologies - Bordeaux I. 2008
- [3] Doitrand A, Fagiano C, Carrère N, Chiaruttini V, Hirsekorn M. Damage onset modeling in woven composites based on a coupled stress and energy criterion. *Eng Fract Mech* 2017;169:189-200.
- [4] Doitrand A, Fagiano C, Hild F, Chiaruttini V, Mavel A, Hirsekorn M. Mesoscale analysis of damage growth in woven composites. *Compos Part A Appl Sci Manuf* 2017;96:77-88.
- [5] Leguillon D. Strength or toughness? A criterion for crack onset at a notch. *Eur J Mech A Solids* 2002;21(1):61-72.