

Analyse et modélisation de l'effet du cisaillement et de la température sur la cinétique de fissuration d'un composite stratifié

Jean Vereecke¹, Christophe Bois¹, Jean-Christophe Wahl¹, Erwann Le Goff², Florian Lavelle³

1 : Ingénierie Mécanique et Conception (IMC), Institut de Mécanique et d'Ingénierie (I2M)
15 rue Naudet, 33175 Gradignan
e-mail : jean.vereecke@u-bordeaux.fr

2 : Structure composite, ArianeGroup
Saint-Médard-en-Jalles, France

3 : Direction des Lanceurs, Centre National d'Études Spatiales (CNES)
Paris, France

Abstract

Dans un contexte d'allègement des lanceurs spatiaux, le développement de réservoirs à ergols liquides en matériaux composites sans liner constitue un enjeu technologique. L'absence de liner d'étanchéité impose au composite de répondre aux critères fonctionnels de résistance et de perméabilité. Cependant les composites stratifiés ont tendance à s'endommager à des niveaux de chargement bien inférieurs à leur seuil de rupture. Les endommagements les plus critiques vis-à-vis de la perméabilité sont la fissuration transverse et le micro-délaminage dont la coalescence génère des points de fuite. La relation endommagement-perméabilité est pilotée par un grand nombre de paramètres (épaisseur de pli, orientation, séquence d'empilement...) qu'une campagne expérimentale seule ne saurait couvrir. La mise en place d'essais virtuels complémentaires offre donc une solution intéressante puisqu'elle permet d'identifier les paramètres influençant les mécanismes de fissuration à l'aide de modèles numériques en vue de leur optimisation.

Le matériau étudié est un composite stratifié à fibre de carbone et matrice époxy fabriqué par placement de fibres automatisé. Nous étudions deux orientations de plis différentes 90° et 75° de quatre épaisseurs différentes $572\mu\text{m}$, $280\mu\text{m}$, $143\mu\text{m}$ et $71\mu\text{m}$. Les essais sont réalisés à 20°C et -130°C dans une enceinte thermique. L'éprouvette est d'abord stabilisée à la température souhaitée puis chargée mécaniquement pour initier ou propager l'endommagement. La déformation est à son tour stabilisée afin de réaliser la microscopie de la tranche de l'éprouvette. Cette inspection consiste à quantifier le nombre de fissures transverses et leur position sur une longueur d'observation de 80mm ce qui permet d'évaluer les effets statistiques liés à la variabilité du matériau. L'opération est itérée sur un nombre de paliers de chargement suffisant, afin de tracer l'évolution du taux de fissuration réduit en fonction de la déformation longitudinale appliquée au stratifié.

Les essais virtuels s'appuient sur une modélisation explicite des plis contenant les fissures potentielles. À chaque fissure est attribué un couple de propriétés de rupture (taux de restitution d'énergie critique, limite de rupture de la résistance) issus d'une distribution probabiliste. En ouvrant puis en refermant successivement chaque fissure potentielle, les équations de la mécanique de rupture discrète (FFM) nous permettent d'estimer le niveau de chargement nécessaire à la création de chacune. La fissure potentielle la plus critique est identifiée et le processus est réitéré de façon à reproduire la cinétique de fissuration obtenue expérimentalement. La distribution des propriétés de fissuration en mode I est identifiée par recalage sur les cinétiques des plis à 90° (solicitation transverse pure), et l'effet du cisaillement est quantifié grâce au recalage des cinétiques des plis à 75° (solicitation mixte).

La FFM a permis d'identifier les distributions des propriétés de rupture et de représenter les mécanismes de fissuration à température ambiante et en milieu cryogénique. Une extension du modèle pourrait donc être proposée afin de caractériser les interactions entre les plis endommagés et de mieux comprendre l'agencement des fissures dans l'épaisseur du stratifié.