

Investigation thermomécanique pour le dimensionnement en fatigue des composites tissés 3D

**L. Navrátil^{a,b}, Y. Marco^a, V. Le Saux^a
S. Leclercq^b, N. Carrere^c**

a. ENSTA Bretagne, IRDL, UMR CNRS 6027
2, rue François Verny, 29806 Brest cedex 9

libor.navratil@ensta-bretagne.org/libor.navratil@safrangroup.com

yann.marco@ensta-bretagne.fr

vincent.lesaux@ensta-bretagne.fr

b. Safran Landing systems
Vélizy-Villacoublay

sylvain.leclercq@safrangroup.com

c. Safran Composites
Itteville

nicolas.carrere@safrangroup.com

Résumé

Les travaux de cette étude portent sur un composite tissé 3D générique à matrice organique développé par le groupe Safran. Le premier objectif majeur de cette étude est de décrire la relation entre la signature thermomécanique sous chargements cycliques et les mécanismes dissipatifs. Ce dernier nécessite de décrire et de comprendre les mécanismes d'endommagement et de caractériser les phénomènes dissipatifs à l'échelle mésoscopique. Le deuxième objectif est de proposer un critère de fatigue en utilisant les approches basées sur l'analyse de l'auto-échauffement sous sollicitations cycliques. Ces deux axes d'études sont intimement liés et visent à alimenter une chaîne de dimensionnement en fatigue adaptée pour cette classe de matériau.

Mots clés : composites tissé 3D ; fatigue ; auto-échauffement ; caractérisation rapide ; outil d'aide au dimensionnement ; mécanismes d'endommagement ; échelle mésoscopique

1. Introduction

Un des défis majeurs de l'industrie aéronautique réside dans la réduction des gaz à effet de serre. Afin d'atteindre cet objectif, de plus en plus d'attention est accordée aux matériaux composites qui remplacent les matériaux métalliques afin d'alléger les structures des

aéronefs. Dans cette logique Safran cherche à utiliser des composites tissés 3D à matrice organique qui permettent de pallier le problème de délaminage qui peut être présent (notamment suite à un impact) lors de l'emploi des composites stratifiés (UD ou tissé 2D) qui sont les composites les plus communément utilisés. [1]

Cette étude porte sur un matériau composite tissé 3D générique. Pour utiliser ce matériau, il est primordial d'appréhender le comportement de celui-ci en fatigue sous sollicitations représentatives des conditions de service. Il a été décidé de s'appuyer sur les approches basées sur l'analyse d'auto-échauffement pour identifier la tenue en fatigue de manière rapide. Pour atteindre cet objectif, deux axes d'études principaux sont suivis : la caractérisation de la relation entre la signature thermomécanique et les mécanismes dissipatifs à l'échelle mésoscopique et l'établissement d'un critère de fatigue proposé à partir de l'analyse des essais d'auto-échauffement.

2. Analyse mésoscopique de la relation entre la signature thermomécanique et les mécanismes dissipatifs

Les conditions de fonctionnement imposent principalement des sollicitations mécaniques cycliques. Une première nécessité est la description et la compréhension des mécanismes d'endommagement. Pour ce type de matériau, les principaux modes d'endommagement sont : l'endommagement diffus de la matrice, des décohésions, des ruptures au sein des fibres transversales, puis la rupture des fibres longitudinales (cf. Figure 1). [2] Le focus sera mis sur les premiers stades d'endommagement qui apparaissent sous des chargements relativement faibles conduisant à des longues durées de vie.

Le deuxième objectif de cet axe est de décrire des mécanismes dissipatifs à l'échelle mésoscopique. A cette fin, les champs d'énergie dissipée et les champs de couplage thermoélastique sont caractérisés par thermographie infrarouge et puis analysés à l'échelle d'un sous-motif de tissage. Cette étape a pour objectif de permettre d'identifier les contributions des différents mécanismes dissipatifs (viscoélasticité, viscoplasticité, ...) et d'alimenter les comparaisons à des simulations numériques à cette échelle. Ces comparaisons permettront d'évaluer l'influence de différents paramètres de la loi de comportement sur les bilans énergétiques et servent de base pour la modélisation de la réponse thermomécanique sous chargement cyclique.

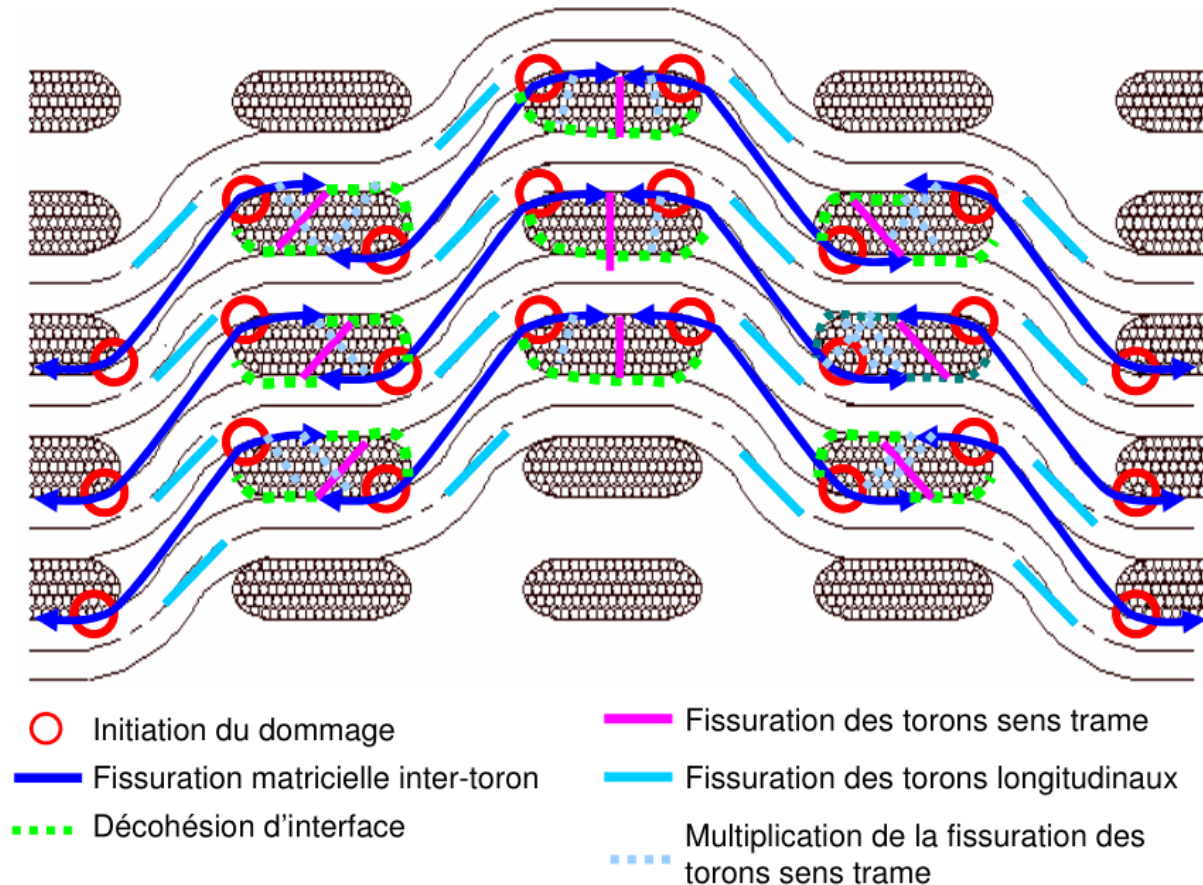


Figure 1: Mécanismes de dégradation observés sur un tissé 3D. Figure extraite de [2]

3. Proposition d'un critère de fatigue

Les propriétés en fatigue sont généralement évaluées à partir d'essais de fatigue sous chargements cycliques menés jusqu'à la rupture. Une courbe de Wöhler est ensuite construite à partir de ces essais en mettant en relation une grandeur mécanique (p. ex. l'amplitude de chargement) au nombre de cycles à rupture. Cependant, les coûts associés à cette procédure sont très importants du fait des durées d'essais et du nombre d'éprouvettes à tester. C'est pour cette raison entre autre que dans cette étude, la capacité du protocole d'auto-échauffement à prédire les propriétés de durée de vie du composite étudié est investiguée.

L'objectif principal de cet axe est de définir un modèle d'analyse de la courbe d'auto-échauffement et de définir un critère de dimensionnement en fatigue utilisable industriellement. Cette problématique est abordée à l'échelle macroscopique. Néanmoins cette démarche est conditionnée par la compréhension du lien entre les mécanismes physiques et l'auto-échauffement. Pour les matériaux métalliques, cette compréhension est bien décrite [3], [4]. Dans les matériaux composites, la nature des mécanismes est très dépendante de la nature de la matrice et de la microstructure. Cependant, il a été montré

que des approches basées sur un dépouillement empirique donnaient de bonnes corrélations avec la courbe de fatigue moyenne [5], [6], [7].

Dans cette perspective, les travaux de cette étude visent à faire la transition de la réponse énergétique mésoscopique vers l'échelle de l'éprouvette et ensuite à relier la caractérisation thermomécanique macroscopique à la durée de vie en fatigue. Cette relation est pour les approches d'auto-échauffement classiquement faite via un critère énergétique.

4. Conclusion

Les premières observations ont mis en avant des mécanismes d'endommagement déjà décrits dans la littérature pour ce type de matériau. Il reste à évaluer leurs contributions à la dissipation totale et ensuite analyser le comportement thermomécanique par un dialogue essais/calculs.

Le protocole d'auto-échauffement semble pertinent pour ce matériau et le critère de fatigue identifié à partir d'un dépouillement empirique montre une bonne corrélation avec les essais de fatigue. De plus, les champs de couplage thermoélastique reflètent bien la microstructure du matériau.

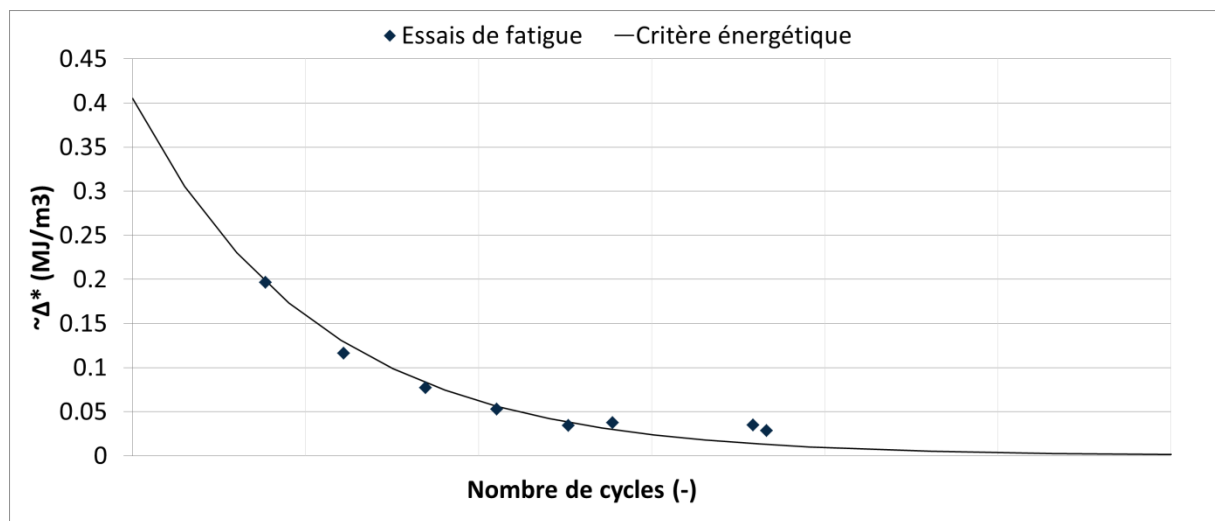


Figure 2: Exemple d'un critère énergétique identifié à partir du protocole d'auto-échauffement et sa confrontation avec les résultats des essais de fatigue

Références

- [1] Rakotoarisoa, C. *Prévision de la durée de vie en fatigue des composites à matrice organique tissés interlock*. Thèse de doctorat, Université de Technologie de Compiègne, 2013
- [2] El Hage C. *Modélisation du comportement élastique endommageable de matériaux composites à renfort tridimensionnel*. Thèse de doctorat, Université de Technologie de Compiègne, 2006.
- [3] Doudard C., Hild F., Calloch S. *A probabilistic model for multiaxial high cycle fatigue*. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures* 30 (2), 107-114. 2007.
- [4] Ezanno A., Doudard C., Calloch S., Heuzé JL. *A new approach to characterizing and modeling the high cycle fatigue properties of cast materials based on self-heating measurements under cyclic loadings*, *International Journal of Fatigue* 47, 232-243. 2013.

[5] Roué V. *Caractérisation thermomécanique en fatigue d'un composite tissé 3D pour applications aéronautiques*. Stage de Master recherche. 2016.

[6] Leveuf L., Marco Y., Le Saux V., Olhagaray J., Leclercq S. *Characterization of the fatigue properties on a short carbon fiber reinforced thermoplastic based on the heat build-up protocol*. 10th International Conference on Advanced Computational Engineering and Experimenting. ACE-X 2016, Split, Croatia. July 2016.

[7] Leveuf L., Marco Y., Le Saux V., Navrátil L., Leclercq S., Olhagaray J., *Fast screening of the fatigue properties of thermoplastics reinforced with short carbon fibers based on a heat build-up protocol*. 12th International Fatigue Congress. FATIGUE 2018