

Dimensionnement en fatigue d'un thermoplastique en fibre courtes de carbone : loi de comportement, critère et caractérisation rapide en fatigue

**L. Leveuf^a, Y. Marco^a, V. Le Saux^a, L. Navrátil^a,
J. Olhagaray^b, S. Leclercq^c**

a. ENSTA Bretagne, IRDL, FRE CNRS 3744
2, rue François Verny, 29806 Brest cedex 9

louis.leveuf@ensta-bretagne.org
yann.marco@ensta-bretagne.fr
vincent.le_saux@ensta-bretagne.fr
libor.navratil@ensta-bretagne.org

b. Safran Composites
Itteville

jerome.olhagaray@safrangroup.com

c. Safran Landing systems
Vélizy-Villacoublay

sylvain.leclercq@safrangroup.com

Résumé

Les objectifs majeurs de cette étude sont d'élaborer une loi de comportement phénoménologique d'un thermoplastique semi-cristallin renforcé à 30% en masse de fibres courtes de carbone et, d'autre part d'établir efficacement un critère de fatigue à partir du protocole d'auto-échauffement. Ces deux axes d'études sont intimement liés et visent à alimenter une chaîne de dimensionnement en fatigue complète : prédiction de l'anisotropie de la pièce lors du calcul d'injection puis, prédiction du comportement mécanique à partir de notre loi de comportement et enfin, prédiction de la durée de vie locale à partir du critère de durée de vie établi avec le protocole d'auto-échauffement.

Mots clés : thermoplastique ; composites fibres courtes ; fatigue ; loi de comportement, auto-échauffement ; caractérisation rapide ; chaîne de dimensionnement

1. Introduction

L'actuelle guerre commerciale, écologique et économique de réduction des masses n'a jamais épargnée l'aéronautique. Néanmoins, le niveau d'exigence et de performance est tel que de « nouveaux » matériaux polymères doivent être considérés pour obtenir des performances thermo-mécaniques plus avantageuses que les matériaux métalliques

majoritairement employés jusqu'à présent. Safran Composites et Safran Landing Systems considèrent ainsi l'emploi de polymères hautes performances. Notre étude porte plus précisément sur l'étude d'un thermoplastique semi-cristallin thermostable renforcé à 30% en masse de fibres courtes de carbone.

Pour utiliser ce matériau, il est primordial d'appréhender le comportement du matériau sous sollicitations représentatives des conditions de service notamment en fatigue mécanique voir thermomécanique. Pour cela, nous avons suivi deux axes d'études principaux : l'établissement d'une loi de comportement mécanique et l'établissement d'un critère de fatigue alimenté par des essais d'auto-échauffement.

2. Loi de comportement

Les conditions de fonctionnement imposant principalement des sollicitations mécaniques cycliques, un des points clefs de notre loi de comportement est de simuler précisément aussi bien les phases de charge que de décharge. Pour ce faire, et afin d'avoir un nombre de paramètres matériau limité, nous proposons une loi de comportement phénoménologique dont le schéma rhéologique est illustré sur la figure 1 suivante.

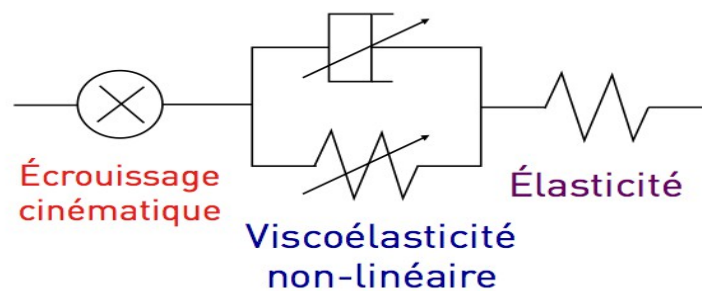


Figure 1. Schéma rhéologique du modèle phénoménologique retenu pour la description du comportement de notre thermoplastique chargé en fibres de carbone courtes.

Le bloc élastique est une élasticité conventionnelle obéissant à la loi de Hooke. L'écrouissage cinématique est de type Armstrong Frederick. Il permet de décrire l'évolution de la plasticité mise en évidence lors des essais de caractérisation. Il permet également de piloter la non-linéarité du bloc viscoélastique au niveau de la raideur. En effet, nous avons constaté expérimentalement que la raideur équivalente du matériau diminue avec l'écrouissage. La deuxième non-linéarité de la viscoélasticité portant sur l'amortisseur permet de pouvoir simuler des essais sur plusieurs décades de vitesses de sollicitation mécanique avec une évolution de type puissance. Un exemple de comparaison entre les réponses expérimentales et simulées est présenté sur la figure 2 page suivante.

L'anisotropie des pièces obtenues par injection de ce type de matériau est une deuxième difficulté clef de l'élaboration de cette loi de comportement. Nous prenons en compte cette anisotropie en faisant dépendre certains paramètres matériau aux tenseurs locaux d'orientation comme le propose A. Launay dans [1].

3. Critère de durée de vie

Les propriétés en fatigue sont habituellement obtenues à partir d'une campagne de tests cycliques menés jusqu'à l'obtention d'un critère de ruine. Une courbe de Wöhler est ensuite construite à partir de ces essais en mettant en regard l'amplitude de chargement (ou une autre grandeur mécanique) au nombre de cycles à rupture. Cette procédure présente au moins deux inconvénients majeurs : 1) le nombre important d'éprouvettes testées et 2) le temps nécessaire pour atteindre des nombres de cycles représentatifs de l'application. Dans notre étude, nous investiguons la capacité du protocole d'auto-échauffement à prédire rapidement les propriétés de durée de vie de notre composite.

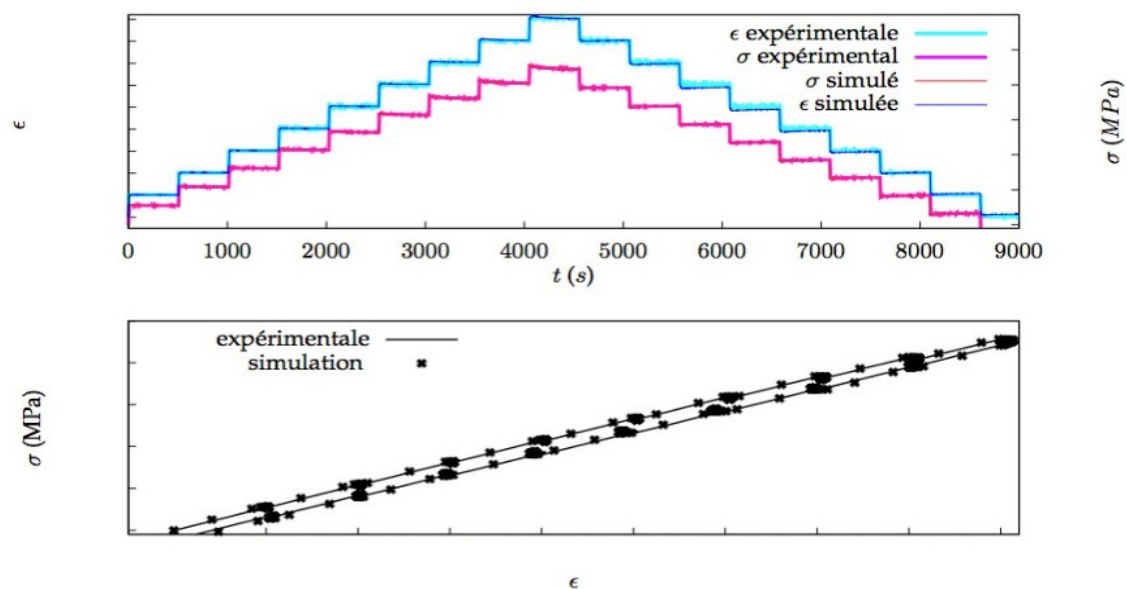


Figure 2. Exemple de corrélation entre la réponse numérique simulée et expérimentale pour une éprouvette lors d'un essai anhystrétique.

À partir des mesures thermiques réalisées sous chargements cycliques, nous évaluons la dissipation intrinsèque pour différents niveaux de chargement durant le régime transitoire. Une fois cela réalisé, nous identifions notre critère de fatigue à partir de la courbe de dissipation intrinsèque en fonction de l'amplitude de chargement [2,3,4]. La caméra mesurant un champ bi-dimensionnel de température, nous pouvons avoir accès aux cartographies de couplage thermoélastique et de dissipation, permettant de révéler la microstructure réelle de éprouvettes (exemple figure 3 page suivante).

4. Conclusion

La loi de comportement élasto-viscoélastique non-linéaire écrouissable permet de simuler les sollicitations cycliques avec une bonne correspondance avec les résultats expérimentaux.

Le protocole d'auto-échauffement en régime transitoire semble pertinent pour notre matériau et le critère de fatigue identifié corrèle très bien aux essais de fatigue classiques réalisés. De

plus, les champs de dissipation et couplage thermoélastique obtenus reflètent bien l'anisotropie complexe réelle de nos éprouvettes.

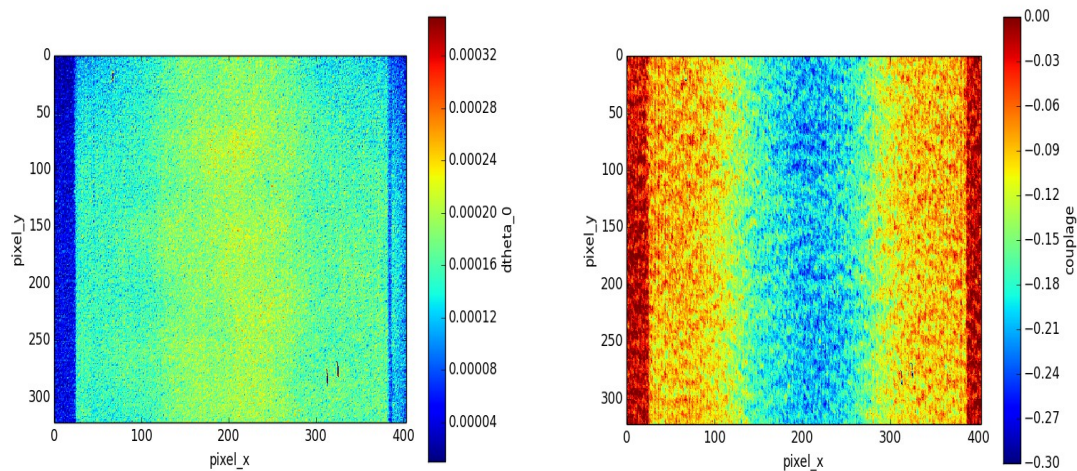


Figure 3. Exemple de cartographie de dissipation (à gauche) et couplage thermoélastique (à droite) obtenues avec le protocole d'auto-échauffement sur la tranche d'une éprouvette de type cœur/peau et de 8 mm d'épaisseur

Ces deux outils mis en place, il nous reste à les connecter afin de boucler la chaîne de dimensionnement en fatigue et à vérifier les estimations mécaniques et de durée de vie sur une pièce structurale plus complexe.

Références

- [1] Launay, A., Marco, Y., Maitournam, M. H., Raoult, I., & Szymtka, F. (2010). Cyclic behavior of short glass fiber reinforced polyamide for fatigue life prediction of automotive components. *Procedia Engineering*, 2(1), 901-910.
- [2] Jégou L., Marco Y., Le Saux V., Calloch S. (2013). Fast prediction of the Wöhler curve from heat build-up measurements on Short Fiber Reinforced Plastic, *International Journal of Fatigue*, 47, 259-267.
- [3] Serrano Abello L., Marco Y., Le Saux V., Robert G., Charrier P. (2015). Fast prediction of the fatigue behavior of short fiber reinforced thermoplastics from heat build-up measurements: from the sample to the structure. *ICCM 20, Copenhagen*.
- [4] Meneghetti, G., & Quaresimin, M. (2011). Fatigue strength assessment of a short fiber composite based on the specific heat dissipation. *Composites Part B: Engineering*, 42(2), 217-225.