

Etude de l'endommagement d'un composite thermoplastique à fibres continues

S.Gillet^{ab}, Y. Tirel^c, F. Canevet^c, P. Dewailly^d, L. Laiarinandrasana^b, S. Joannes^b, N.Bedrici^a

a. ESTACA'LAB, pôle mécanique, ESTACA Campus Ouest, Laval. stephane.gillet@estaca.fr

b. Centre des Matériaux Mines ParisTech, CNRS UMR 7633, Evry

c. Cooper Standard, Rennes

d. CEMCAT, Laval

Résumé

Ce poster présente le contexte et les objectifs d'une thèse qui débute sur la caractérisation et la modélisation en fatigue d'un composite PA66 chargé fibres courtes et renforcé par des fibres continues. Le projet DynaFib a abouti à un concept de pièce industrialisable et une démarche de dimensionnement produit process associée. Il reste maintenant à poursuivre le travail de compréhension mené lors de ce projet et de l'étendre au comportement en fatigue dans un but de modélisation avec une approche multi-échelle.

Mots clés : Thermoplastique ; Fibres continues ; Multi-échelles ; Endommagement ; Microtomographie à rayons X

1. Introduction

L'objectif de ce poster est de présenter le contexte, les objectifs et la démarche de la thèse dont le sujet est la « Caractérisation et modélisation de l'endommagement en fatigue de composites thermoplastiques injectés et renforcés par des fibres continues ». Ces travaux sont réalisés avec la Société Cooper Standard et sous la responsabilité scientifique du Centre des Matériaux de l'Ecole des Mines de Paris et de l'ESTACA. La première partie du poster décrit le contexte industriel de la thèse avec le projet DynaFib qui vient de s'achever. La seconde partie aborde les objectifs industriels et scientifiques. Ensuite les résultats des travaux antérieurs sont présentés suivi de la démarche envisagée pour atteindre les objectifs de la thèse.

2. Contexte et objectifs de la thèse

2.1 Contexte

La réduction de la masse des véhicules est un objectif majeur de l'industrie automobile. Les matériaux composites à matrice thermoplastique sont une des solutions pour obtenir un compromis entre diminution de masse, performances mécaniques attendues et cadences de production.

Les thermoplastiques chargés de fibres courtes sont à présent utilisés dans des pièces de structure comme des armatures de support moteur [1]. Leur comportement en fatigue commence à être

connu mais les modèles de dimensionnement ne sont pas encore déployés pour des applications industrielles [2].

Le projet collaboratif DynaFib (Fig. 1) piloté par Cooper Standard avait pour finalité la réalisation de pièces composites thermoplastiques (PA66 chargé fibres courtes) à renforts continus compatibles avec les grandes cadences de l'industrie automobile, respectant les cahiers des charges fonctionnels avec une procédure de dimensionnement produit/process associée. L'ajout de renforts continus permet d'améliorer les propriétés mécaniques des PA66 chargé fibres courtes et donc les possibilités d'allègement.

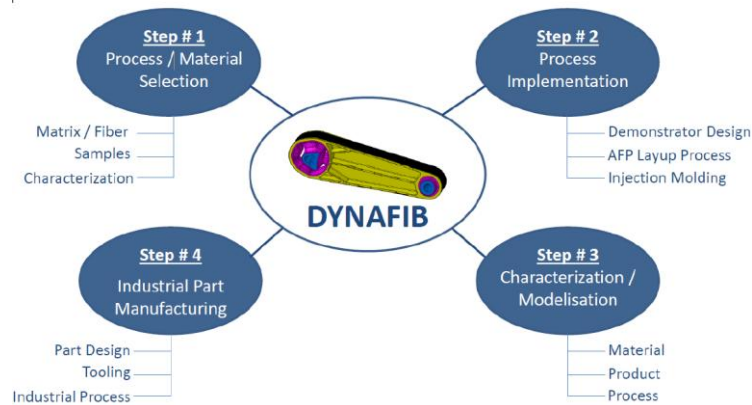


Figure 1 : Projet collaboratif DynaFib

Ce projet, terminé en 2016, a atteint tous les objectifs initiaux avec la réalisation de 2 prototypes, dont le dernier avec un process représentatif série sur la base de 600 000 pièces/an.

La démarche de dimensionnement, pour un chargement monotone, a été mise au point et validée sur les 2 pièces industrielles.

2.2 Objectifs

Un passage obligé est donc de disposer d'outils capables de prévoir la tenue en service de ces pièces techniques. Pour cela il est nécessaire mettre en place des modèles de comportement et des critères répondant à des sollicitations de fatigue.

Dans ce but, le comportement en fatigue de ces composites thermoplastiques à renforts continus et surmoulés par une matrice chargée de fibres courtes reste à étudier en tenant compte des variables d'environnement que sont la température et le taux de reprise d'humidité, ainsi que de la microstructure induite par le procédé de fabrication.

Cette thèse combinera une démarche expérimentale à une approche numérique afin d'identifier puis de modéliser les mécanismes d'endommagement en chargement monotone puis en fatigue à différentes échelles.

Cette thèse sera menée avec en ligne de mire les contraintes produit/process de l'application visée.

3. Travaux antérieurs

Les travaux ont porté d'une part sur la mise en place de démarches de dimensionnement pragmatiques pour les produits DynaFib (Fig. 2) et d'autre part sur l'étude de leur endommagement en chargement monotone. L'étude de l'endommagement a été menée à 2 échelles : au niveau macroscopique avec des critères d'endommagement mécaniques et au niveau microscopique avec des observations au MEB via des essais interrompus [3]. La dépendance aux variables d'environnement comme la température et le taux de reprise d'humidité a également été étudié.

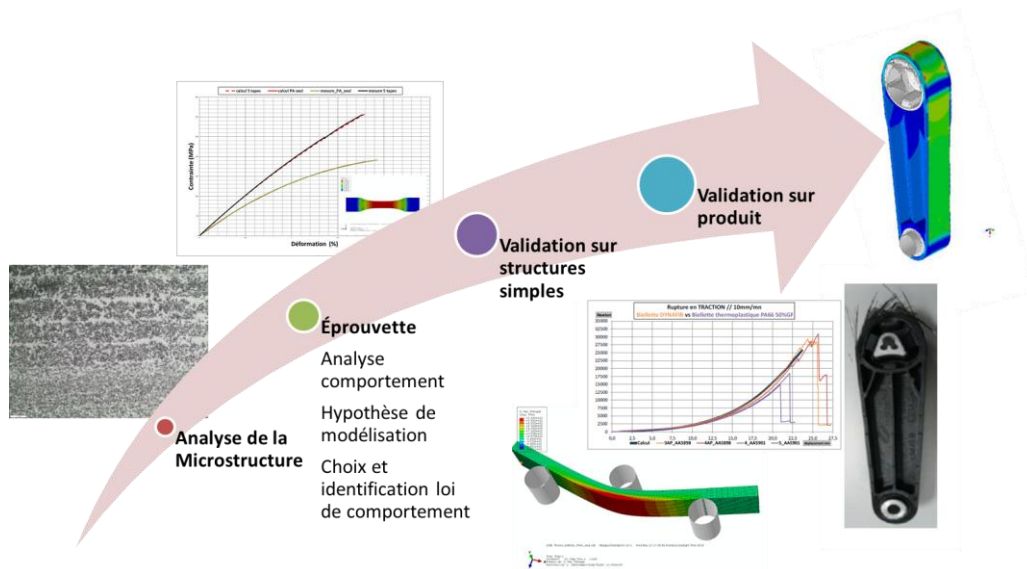


Figure 2. Approche pragmatique dimensionnement DynaFib

Cette campagne expérimentale a mis en évidence plusieurs phénomènes :

- L'apport du renfort continu qui améliore les caractéristiques mécaniques du matériau, limite sa dépendance aux conditions environnementales et diminue l'endommagement au sein du polyamide chargé fibres courtes.
- Les scénarios d'endommagements ont été identifiés à l'aide d'observations MEB dans différentes directions (perpendiculaire et parallèle à la sollicitation) sur des essais interrompus. Les modes d'endommagements observés sont la fissuration matricielle (Fig. 2), la décohésion d'interface, le déchaussement et la rupture de fibres. Leur signature acoustique a également été déterminée.
- Les modes d'endommagement sont identiques dans le PA66 chargé avec et sans renfort continus mais les chronologies d'endommagement sont dépendantes des conditions environnementales.
- L'interface renfort continu/matrice est une zone avec peu d'endommagement avant la rupture finale.

Cette étude expérimentale est à poursuivre et ses conclusions à confirmer par rapport à d'autres travaux d'observation d'endommagement par micro-tomographie in situ [4-5]. Ces observations mettent en évidence des concentrations de contraintes dans la matrice dans les zones de proximité de fibres. Ces états de contraintes multiaxiales et très localisés dans la matrice sont sources d'endommagement. Cette partie sera traitée lors de la thèse qui débute.

4. Démarche

La démarche va se décomposer en 2 grandes phases :

Une phase expérimentale qui doit aboutir à l'observation et la compréhension des mécanismes d'endommagements, en particulier au travers de micro-tomographie sur des essais en fatigue interrompus et in-situ. Cette base expérimentale servira à la mise en œuvre de la phase numérique.

Une phase numérique avec une approche multi-échelle permettant de représenter le comportement en quasi statique et fatigue jusqu'à prédiction des durées de vie.

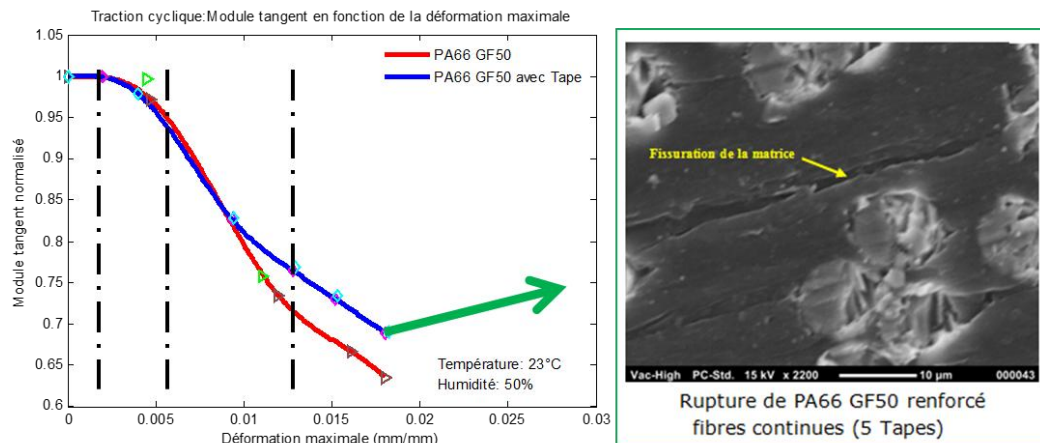


Figure 4. Lien entre grandeur d'endommagement mécanique et observation MEB [3]

5. Conclusion

Le concept de pièce développé lors du projet DynaFib est une des solutions d'allègement disponible pour l'industrie automobile. Le renfort continu associé à du PA66 chargé fibres de verre courtes permet de grandes cadences de production associées à de bonnes propriétés mécaniques. Les études précédentes montrent l'effet stabilisant du renfort continu sur les propriétés mécaniques en température et humidité. Cette thèse qui fait suite au projet DynaFib a pour ambition d'aller approfondir la compréhension du comportement en fatigue de tels matériaux et d'y associer une modélisation prédictive pour des sollicitations en fatigue.

Remerciements

Je tiens à remercier l'ensemble du consortium DynaFib pour ces 3 années de travail dans un esprit d'échanges techniques et scientifiques : Cooper Standard, Le plateau Compositic à Lorient, 3MO Performance à Laval et le CEMCAT. Merci à Mohamed Gassoumi et Mohcine Hassard pour leur aide précieuse dans ce projet.

Références

- [1] L. Jegou, Caractérisation rapide des propriétés en fatigue d'un polymère renforcé par des fibres courtes, pour une application automobile Thèse de doctorat de l'Université de Bretagne Occidentale, 2012
- [2] M. F. Arif, Damage mechanism in Sort glass fiber reinforced polyamide-66 under monotonic and fatigue loading : effect of relative humidity and injection molding induced microstructure, Thèse de doctorat Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers- ParisTech, 2014.
- [3] M. Gassoumi, Etude de l'endommagement sur un composite à matrice thermoplastique renforcé fibres continues, Mémoire de Master Recherche Mécanique et Science des Fibres, ENSISA-COOPER-ESTACA, 2015
- [4] M. F. Arif, N. Saintier, F. Meraghni, J. Fitoussi, Y. Chemisky, and G. Robert. Multiscale fatigue damage characterization in short glass fiber reinforced polyamide-66. *Composites Part B: Engineering*, 61:55-65, January 2014.
- [5] H. Rolland, N. Saintier, and G. Robert. Damage mechanisms in short glass fibre reinforced thermoplastic during in situ microtomography tensile tests. *Composites Part B: Engineering*, 90:365-377, 2016.