Modélisation du Comportement Cyclique d'un Thermoplastique Renforcé en Fibres de Verre Courtes

A. Launay[a,b,c], M.H. Maitournam[a], Y. Marco[b], I. Raoult[c]

[a] *Laboratoire de Mécanique des Solides (CNRS UMR 7649), École polytechnique, 91128 Palaiseau, France*

[b] *Laboratoire Brestois de Mécanique et des Systèmes (EA 4325 ENSIETA/UBO/ENIB), 2 rue François Verny, 29806 Brest Cedex 9, France*

[c] *PSA Peugeot Citroën (Direction Scientifique et des Technologies Futures), Route de Gisy, 78943 Vélizy-Villacoublay Cedex, France*

1 Introduction

Les thermoplastiques renforcés en fibres de verre courtes (glass fibers GF), mis en forme par injection, offrent de nombreux avantages lorsqu'on les compare aux matériaux métalliques :

- une rigidité spécifique importante grâce aux fibres courtes, ce qui permet des gains de masse ;
- une intégration de fonctions rendue possible avec des géométries de moules complexes ;
- un coût modéré du moulage par injection, qui respecte les cadences de production élevées.

L'industrie automobile emploie ainsi de plus en plus ces matériaux pour des applications structurales. Au voisinage du moteur, les concepteurs mettent à profit la bonne tenue thermique des matrices polyamides (PA), et les composants du circuit d'air sont ainsi couramment en PA-GF. Les sollicitations thermo-hygro-mécaniques variables auxquelles sont soumises ces pièces expliquent la nécessité de les dimensionner à la fatigue. La première étape de cette démarche de dimensionnement est la description du comportement cyclique sous chargement complexe.

2 Modélisation du comportement cyclique non-linéaire

Une campagne expérimentale étendue a été menée sur des éprouvettes de traction ISO527A injectées en PA66GF35 (polyamide 66 renforcée à 35 % en masse de fibres de verre courtes). En raison de la dépendance notoire des propriétés mécaniques du polyamide au taux d'humidité RH ainsi qu'à la température T, différents conditionnements du même matériau ont été testés : taux d'humidité variable à température ambiante, plusieurs niveaux de température.

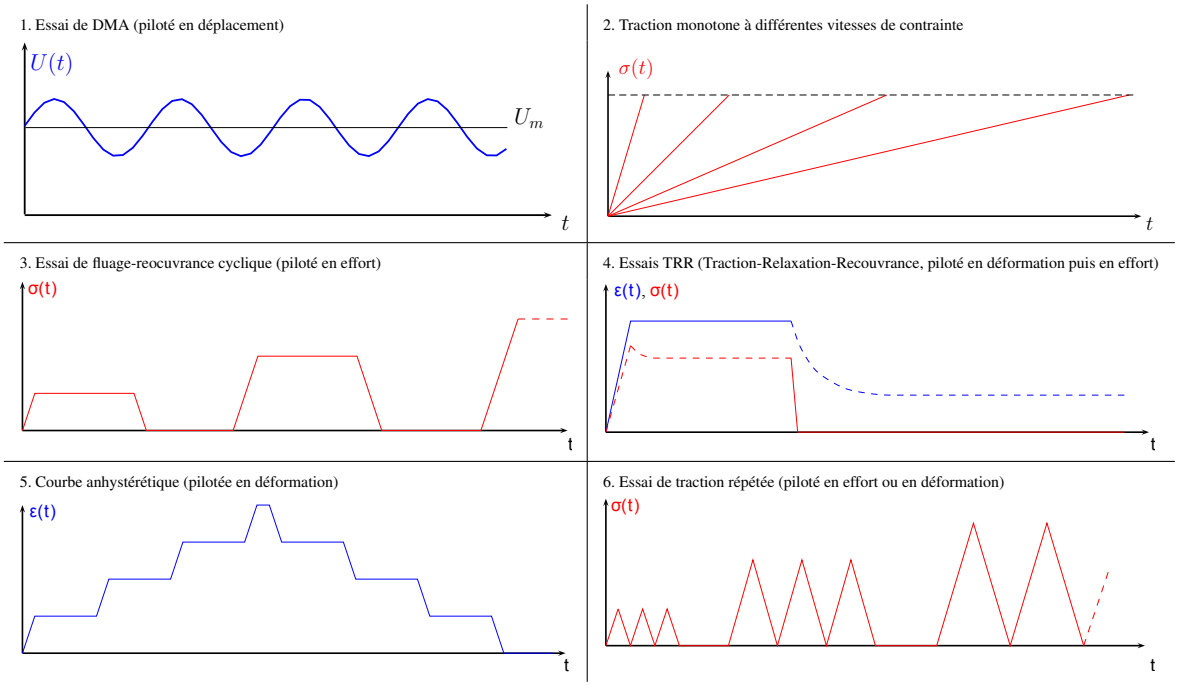


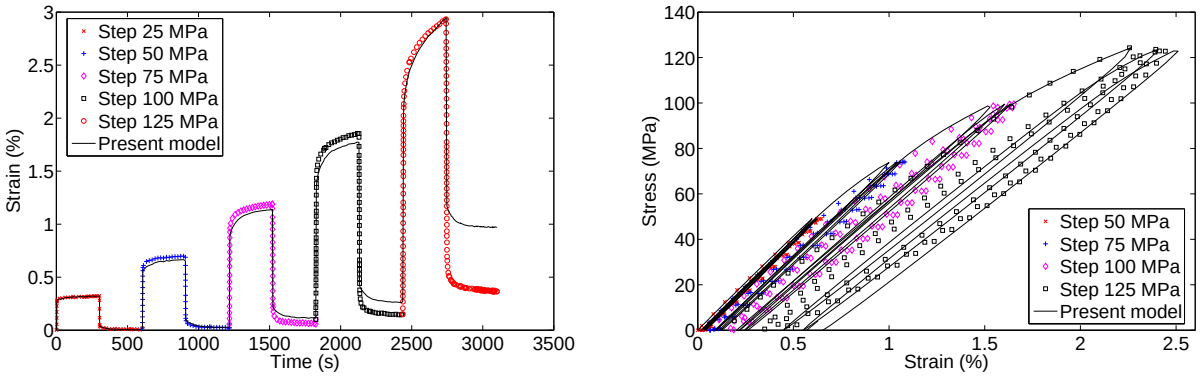
FIGURE 1 – Base expérimentale pour l'étude du comportement cyclique

La base d'essais présentée en figure 1 comporte des tractions monotones pilotées en effort, la vitesse de contrainte allant de 2.5 à 2500 MPa/s. Ces essais ont permis de mettre en évidence une dépendance de la raideur initiale à la vitesse de sollicitation, très marquée au voisinage de la transition vitreuse. Du point de vue de la modélisation, cette dépendance traduit l'activation de phénomènes viscoélastiques à court terme.
Des essais TRR (Traction-Relaxation-Recouvrance) ainsi qu'un essai de fluage-recouvrance cyclique montrent qu'à faible niveau de chargement, des effets viscoélastiques à long terme (complètement recouvrables) interviennent sur une échelle de temps plus importante. Pour des niveaux de contrainte supérieurs, des mécanismes irrécouvrables entraînant une déformation résiduelle sont activés et peuvent être modélisés par un écrouissage non-linéaire. La courbe anhystérétique permet de caractériser des effets visqueux non-linéaires tandis que les essais cycliques illustrent un adoucissement cyclique corrélé à la densité d'énergie dissipée.

Nous proposons une modélisation macroscopique originale du comportement qui suppose une décomposition de la déformation totale en contributions viscoplastique, viscoélastiques (long terme et court terme) et élastique. Les paramètres du modèle ont été identifiés à l'aide du logiciel ZeBuLoN.

3 Résultats et discussion

Le modèle proposé permet une prédiction satisfaisante du comportement cyclique, comme illustré sur la figure 2. Cette prédiction est même très bonne si l'on considère la gamme pertinente pour l'étude de la fatigue, c'est-à-dire des niveaux de contraintes modérés. Les chargements complexes intégrant des paliers de relaxation ou de fluage sont bien simulés. De plus, la modélisation proposée permet une description précise du comportement cyclique et des mécanismes non-linéaires en-deçà (T et/ou RH faibles), au voisinage, et au-delà (T et/ou RH élevés) de la température de transition vitreuse.



(a) Essai de fluage-recouvrance cyclique

(b) Essai de traction répétée par paliers croissants

FIGURE 2 – Comparaison entre les résultats expérimentaux (marqueurs) et la prédiction numérique (trait continu) pour différents chargements sur le matériau RH=50% à température ambiante.

La loi de comportement phénoménologique présentée s'appuie sur une base expérimentale étendue qui permet de justifier chacune des caractéristiques mécaniques prises en compte dans le modèle. La prédiction fiable des grandeurs non-linéaires (viscoplasticité cumulée, énergie dissipée...) permet d'envisager l'étude de chargements de fatigue complexes et néanmoins représentatifs des sollicitations en service (couplage fatigue-fluage, large gamme de sollicitation thermo-hygrométrique).

L'utilisation de ce modèle pour le calcul de structures nécessite l'étude des aspects anisotropes du comportement, conséquence de l'orientation préférentielle des fibres lors de l'injection. Une modélisation phénoménologique s'appuyant sur les informations microstructurales (telles que la distribution locale d'orientation) est proposée. Les résultats numériques sont confrontés à une base expérimentale similaire, mais pour des éprouvettes prélevées dans des plaques à différentes orientations.
La loi de comportement a été intégrée au logiciel de calcul par éléments finis ABAQUS sous la forme d'une routine utilisateur UMAT, de façon à permettre son application au calcul de structures industrielles.