

# Durée de vie en fatigue multiaxiale de pièces injectées en thermoplastiques renforcés par des fibres courtes

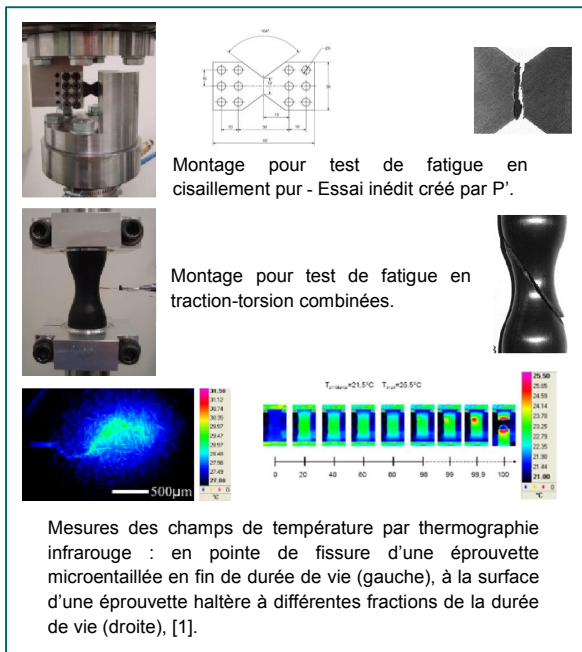
Sylvie CASTAGNET, Carole NADOT-MARTIN, Yves NADOT, Eric LAINE

Contacts : [sylvie.castagnet@ensma.fr](mailto:sylvie.castagnet@ensma.fr) ; [carole.nadot@ensma.fr](mailto:carole.nadot@ensma.fr) ; [yves.nadot@ensma.fr](mailto:yves.nadot@ensma.fr) ; [eric.laine@ensma.fr](mailto:eric.laine@ensma.fr)

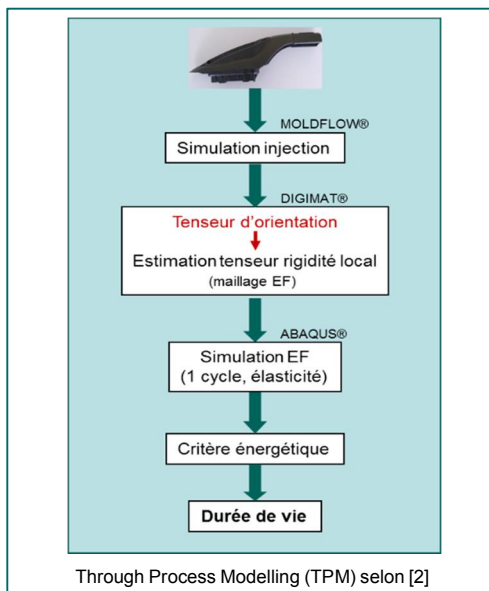
Partenariats : Renault SA, MANN+HUMMEL France, HBM nCode, DGA, PSA, SOLVAY, VIBRACOUSTIC, Fraunhofer LBF (Allemagne), Institut Polytechnique de Milan (Italie).

Thèses en cours : Nathan Fouchier (DGA-Région), Caroline Goutal (SOLVAY, début prévu en novembre 2016).

**Contexte :** Les thermoplastiques (base PA ou PEEK) renforcés par des fibres de verre courtes se substituent de plus en plus aux matériaux métalliques dans l'industrie (automobile, aéronautique, défense...) dans un but d'allègement des structures et de réduction des coûts. L'objectif de cette opération est de développer un outil de dimensionnement en fatigue multiaxiale pour pièces industrielles injectées, qui permette de minimiser le nombre d'essais d'endurance en phase prototype et ainsi les temps et coûts de développement tout en garantissant la fiabilité des composants.



Pour mener à bien cette opération, nous réalisons des **essais de fatigue variés** (traction, torsion, traction-torsion, cisaillement) à différents rapports de charge. Ces essais sont menés sur des éprouvettes standards de géométries différentes (prélevées dans des plaques injectées selon différentes orientations par rapport à la direction d'injection ou tubulaires injectées) mais aussi sur des éprouvettes de structure de géométries plus complexes. Plusieurs matériaux sont testés et à différentes températures, de l'ambiante à 110°C (pour des applications sous capot moteur). Tous ces essais permettent de caractériser les mécanismes d'accommodation cyclique et d'endommagement par fatigue, et simultanément, d'établir une large base de données expérimentales pour l'identification/validation de la méthode de dimensionnement.



Nous proposons une **approche de dimensionnement complètement intégrée** depuis la simulation du procédé jusqu'à l'estimation de la durée de vie. Cette démarche, qualifiée de « Through Process Modelling » (TPM), est novatrice dans le domaine des SFRP. Ses principales étapes sont les suivantes. A partir de la connaissance du tenseur d'orientation fourni par la simulation d'injection, les propriétés effectives anisotropes locales au sein de la pièce sont estimées par homogénéisation. Une simulation Eléments Finis fournit les champs mécaniques dans la pièce en fonction de l'orientation locale des fibres. Les champs sont ensuite post-traités pour calculer la grandeur mécanique du critère de fatigue fournissant finalement la durée de vie de la pièce. Dans cette approche, le choix du critère de fatigue ainsi que la façon de l'appliquer en dernière étape peuvent être optimisés par l'utilisateur sans remettre en cause les étapes en amont. La TPM en élasticité, avec dans ce cas un chaînage Moldflow®-Digimat®-Abaqus®, et associée à un critère de fatigue ne nécessitant qu'une seule courbe S-N pour

l'indentification, a été validée sur éprouvettes standards sur la vaste base de données de fatigue établie à température ambiante [2].

Deux enjeux scientifiques ont été plus récemment abordés. En vue d'une application efficace sur pièces industrielles injectées, le premier concerne la façon d'appliquer le critère en présence de gradients de champs marqués, dans l'épaisseur mais aussi dans le plan de la pièce, dus à la complexité de sa géométrie (effet de structure) et de la distribution d'orientation induite (effet de microstructure). Il s'agit d'une question ouverte dans le domaine de la fatigue en général. Une analyse intermédiaire, entre éprouvette standard et structure industrielle, a permis d'éclaircir cette question sur éprouvettes injectées entaillées. Elle a aussi démontré les aptitudes de la TPM à restituer, à rayon d'entaille fixé, la différence de durée de vie obtenue pour des géométries d'injection différentes (effets de microstructure). Le second enjeu abordé est celui de la généralisation de la TPM pour des applications à hautes températures (pièces sous capot). Cette généralisation, impliquant la prise en compte de la viscoélasticité de la matrice dans le processus d'homogénéisation et la définition/simulation d'un cycle stabilisé avant d'entrer dans un critère en énergie dissipée, fait l'objet des travaux actuels.

#### **Thèse soutenue :**

- 2009 Bert Klimkeit : Etude expérimentale et modélisation du comportement en fatigue multiaxiale d'un polymère renforcé pour application automobile.

#### **Publications :**

- [1] B. Klimkeit, S. Castagnet, Y. Nadot, A. El Habib, G. Benoit, S. Bergamo, C. Dumas, S. Achard. Fatigue damage mechanisms in short fiber reinforced PBT+PET GF30, *Materials Science and Engineering A*, Vol. 528, pp. 1577–1588, (2011).
- [2] B. Klimkeit, Y. Nadot, S. Castagnet, C. Nadot-Martin, C. Dumas, S. Bergamo, M.C. Sonsino, A. Buter. Multiaxial fatigue life assessment for reinforced polymers, *International Journal of Fatigue*, Vol. 33, pp. 766-780, (2011).
- B. Klimkeit, Y. Nadot, S. Castagnet, C. Nadot-Martin, C. Dumas, S. Bergamo. De la simulation du procédé à la tenue en fatigue – application automobile : thermoplastiques renforcés, *Revue de Métallurgie*, Vol. 108, pp. 269-276, (2011).
- C. Nadot-Martin, S. Castagnet, A. Bernasconi, E. Conrado, Y. Nadot. Fatigue life assessment of injection-molded reinforced short fibre thermoplastics: notch effects, 19<sup>th</sup> International Conference on Composite Materials (ICCM19), Montréal, Canada, (2013).
- S. Castagnet, C. Nadot-Martin, A. Bernasconi, E. Lainé, E. Conrado, P. Caton-Rose. Through Process Modeling for the fatigue life assessment of notched injection-molded specimens, 16<sup>th</sup> European Conference on Composite Materials (ECCM 16), Séville, Espagne, (2014).
- C. Nadot-Martin, S. Castagnet, A. Bernasconi, E. Conrado. Through Process Modelling for the fatigue life assessment of injected notched samples: different approaches for the fatigue criterion application, 20<sup>th</sup> International Conference on Composite Materials (ICCM 20), Copenhagen, Danemark, (2015).