

Fatigue multiaxiale des thermoplastiques renforcés par des fibres courtes

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

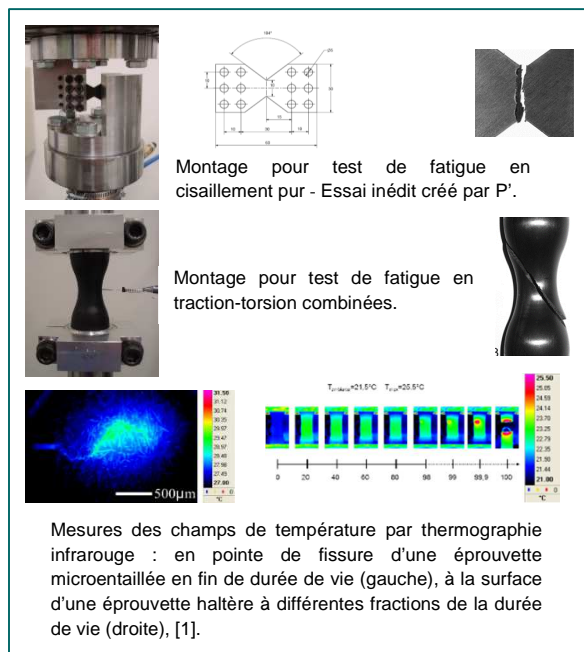
Contacts : sylvie.castagnet@ensma.fr ; carole.nadot@ensma.fr ; yves.nadot@ensma.fr ; eric.laine@ensma.fr

Partenariats académiques : ENSTA Bretagne (IRDL), ENSAM Bordeaux (I2M), Institut Polytechnique de Milan (Italie)

Partenariats actuels ou récents : SOLVAY puis DOMO, VALEO, VIBRACOUSTIC, DGA, PSA, HBM nCode

Thèse en cours : Florent ALEXIS (Cifre DOMO débutée en 2020, partenariat avec VALEO).

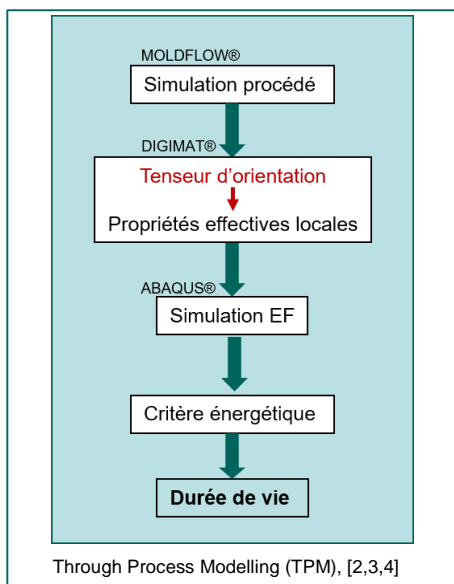
Contexte : Les thermoplastiques (base PA ou PEEK) renforcés par des fibres de verre courtes se substituent de plus en plus aux matériaux métalliques dans l'industrie (automobile, aéronautique, défense...) dans un but d'allègement des structures et de réduction des coûts. L'objectif de cette opération 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 en premier lieu des **essais de fatigue variés** (traction, torsion, traction-torsion combinés, cisaillement) à différents rapports de charge et dans **différentes conditions environnementales** (humidité, température, acidité) représentatives des conditions d'usage des pièces (environnement moteur par exemple). Ces essais sont menés sur des éprouvettes planes (dog bone, papillons) standards ou entaillées, qui sont soit prélevées dans des plaques injectées selon différentes orientations par rapport à la direction d'injection, soit directement injectées comme c'est aussi le cas pour des géométries tubulaires. Les essais sont menés sur les **éprouvettes conditionnées dans l'état ciblé ou après vieillissement** (thermique, solution acide). Ils permettent de caractériser les mécanismes d'accommodation cyclique et d'endommagement par fatigue dans des configurations de multiaxialité variées, et l'impact d'un vieillissement éventuel sur ces mécanismes, et, simultanément d'établir de larges

bases 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),



s'appuie sur les étapes suivantes. A partir de la connaissance du tenseur d'orientation des fibres issu de la simulation d'injection ou mesuré, les propriétés effectives anisotropes locales au sein d'une pièce sont estimées par homogénéisation. Une simulation EF sous Abaqus® fournit les champs mécaniques associés. Les champs sont post-traités pour extraire la grandeur mécanique équivalente en entrée d'un critère de fatigue énergétique fournissant finalement la durée de vie de la pièce. Tout d'abord validée dans un cadre élastique sur une large base d'essais à température ambiante [2], les **recherches récentes** ont porté sur deux enjeux majeurs.

- Le premier concerne la **généralisation** de la TPM à haute température (110°C) avec la prise en compte de la **viscoélasticité de la matrice dans le processus d'homogénéisation**, le passage à un critère en **énergie dissipée**, et la définition/simulation d'un état stabilisé, a minima stationnaire avant de rentrer dans le critère [4].

- Le second enjeu concerne la prise en compte des effets induits par des **chargements multi-axiaux** et la présence de **singularités géométriques** dans le dimensionnement en fatigue, question ouverte pour ces matériaux. Un premier travail [5] a étudié le lien entre les gradients des champs mécaniques et l'hétérogénéité d'orientation en fond d'entaille, pour des éprouvettes entaillées identiques injectées selon deux configurations distinctes. Les aptitudes de la TPM à restituer, à rayon d'entaille fixé, la différence de durée de vie obtenue pour les deux géométries d'injection a par ailleurs été démontrée. Parallèlement, un travail théorique de fond a été amorcé avec une première définition d'un **volume d'intégration** de la grandeur mécanique du critère fondée sur l'analyse des gradients de cette grandeur autour du point chaud.

Enfin, les **travaux en cours** se concentrent sur l'influence du **vieillessement thermique ou en milieu acide** sur la durabilité en fatigue et **l'intégration de cet effet dans la TPM**. Le développement **d'essais in-situ** forme le cœur innovant de la partie expérimentale et l'enjeu scientifique majeur de la partie modélisation est d'introduire l'effet du vieillissement aux endroits pertinents de la chaîne de dimensionnement.

Thèses soutenues :

- 2020 Caroline Goutal : Dimensionnement en fatigue en présence de singularités macroscopiques d'un thermoplastique renforcé par des fibres de verre courtes (PA66GF50) sous chargements uni- et multi-axiaux (thèse CIFRE Solvay – Vibracoustic).
- 2019 Nathan Fouchier : Approche intégrée pour estimer la durée de vie en fatigue de pièces thermoplastiques renforcés fibres courtes dans un cadre viscoélastique haute température (thèse DGA – Région).

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, <https://doi.org/10.1016/j.msea.2010.10.081>, (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(6), pp. 766-780, <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2010.12.004>, (2011).
- [3] 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(5), pp. 269-276, <https://doi.org/10.1051/metal/2011053>, (2011)
- [4] N. Fouchier, C. Nadot-Martin, E. Conrado, A. Bernasconi, S. Castagnet. *Fatigue life assessment of a Short Fibre Reinforced Thermoplastic at high temperature using a Through Process Modelling in a viscoelastic framework*. International Journal of Fatigue, Vol. (124), pp. 236–244, <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.03.001>, (2019).
- [5] S. Castagnet, C. Nadot-Martin, N. Fouchier, E. Conrado, A. Bernasconi. *Fatigue life assessment in notched injection-molded specimens of a short-glass fiber reinforced Polyamide 6 with different injection gate locations*. International Journal of Fatigue, Vol. (143), pp. 105968, <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2020.105968>, (2021).

Conférences internationales :

- C. Nadot-Martin, S. Castagnet, A. Bernasconi, E. Conrado, Y. Nadot. *Fatigue life assessment of injection-molded reinforced short fibre thermoplastics: notch effects*, 19th 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*, 16th 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, 20th International Conference on Composite Materials (ICCM 20), Copenhagen, Denmark, (2015).
- N. Fouchier, C. Nadot-Martin, S. Castagnet, A. Bernasconi, E. Conrado. Contribution to the fatigue life assessment approach for short fibres reinforced thermoplastics at high temperature, 20th International Conference on Composite Structures (ICCS20), Paris, France, (2017).
- C. Goutal, S. Castagnet, C. Nadot-Martin, G. Robert, P. Charrier, Fatigue life estimation of a short glass fibers reinforced thermoplastic: optimization of an energetic criterion and corresponding volume integration for multiaxial applications, 12h International Conference on Multiaxial Fatigue and Fracture (ICMFF 12), Bordeaux, France, 2019.
- C. Goutal, S. Castagnet, C. Nadot-Martin, G. Robert, P. Charrier, Fatigue life estimation of a short glass fibers reinforced thermoplastic: optimization of an energetic criterion and corresponding volume integration for multiaxial applications, 22h International Conference on Composite Materials (ICCM 22), Melbourne, Australie, 2019.