



## Projet de **Thèse CIFRE 2019**, Solvay-Valeo-ISAE-ENSMA

### **Etude en fatigue de matériaux polyamides renforcés par des fibres de verre courtes pour application automobile : impact d'un milieu acide et du vieillissement thermique**

#### Laboratoire d'accueil :

Institut Pprime, CNRS - ENSMA - Université de Poitiers  
UPR 3346  
Département Physique et Mécanique des Matériaux  
Equipe Endommagement et durabilité  
ENSMA - Téléport 2 - 1, avenue Clément Ader  
BP 40109 - F86961 FUTUROSCOPE CHASSENEUIL Cedex, France

Séjours chez les partenaires industriels Solvay (Lyon) et Valeo (La Verrière).

#### Date de début souhaitée :

octobre 2019.

#### Durée :

36 mois.

#### **Solvay et Valeo en quelques chiffres :**

Groupe international de chimie et de matériaux avancés, Solvay sert de nombreux marchés tels que l'automobile, l'aéronautique, les biens de consommation, la santé, l'énergie, l'environnement, l'électricité et l'électronique, la construction ou encore diverses applications industrielles. Le Groupe, dont le siège se trouve à Bruxelles, emploie environ 30 000 personnes dans 53 pays. En 2018, Solvay a réalisé un chiffre d'affaires de 10,3 milliards d'euros dont 90% dans des activités où il figure parmi les trois premiers groupes mondiaux.

Entièrement dédié à la conception, la fabrication et la vente de composants, de systèmes et de modules pour l'automobile et les poids lourds, tant en première qu'en deuxième monte, Valeo est un groupe industriel indépendant et international au chiffre d'affaire de 19,3 milliards d'euros. Le Groupe se classe parmi les premiers équipementiers mondiaux et fournit tous les grands constructeurs automobiles et poids lourds. Le Groupe emploie 113,600 collaborateurs représentant 94 nationalités, répartis dans 184 centres de production, 55 centres de Recherche et Développement dans 33 pays.

#### **Contexte industriel de la thèse :**

Un refroidisseur d'air de suralimentation (CAC), est un échangeur de chaleur utilisé pour refroidir l'air à l'entrée d'un moteur à combustion interne après compression par un turbo-compresseur. Alimenter le moteur avec de l'air comprimé augmente sa puissance en ajoutant de l'oxygène supplémentaire au processus de

combustion. Pendant la compression, l'air se réchauffe et sa densité diminue. Cela contrecarre en partie l'effet de la compression elle-même. Ainsi, un refroidisseur d'air de suralimentation est utilisé pour réduire la température de l'air comprimé afin d'exploiter pleinement l'effet de suralimentation.

Ses conditions de fonctionnement sont :

Température d'entrée d'air 150-240 °C, Pression d'entrée d'air 2 – 6 bar, Température de l'air de sortie < 70°C

Pour l'assemblage des échangeurs de chaleur CAC, les mêmes technologies d'assemblage sont utilisées que pour d'autres échangeurs thermiques automobiles (brasage à atmosphère contrôlée). Le faisceau est complété par des boîtes d'extrémité en polymères renforcés de fibres de verre, objets de la présente étude, et des joints élastomères.



Figure 1 : Refroidisseur d'air de suralimentation air-air pour une configuration de type boîte avec un faisceau brasé (avec des boîtes d'extrémité en plastique renforcé de fibres de verre et des joints élastomères).

En complément de l'aluminium, nécessaire pour un échange thermique de bonne qualité, plusieurs familles de thermoplastiques peuvent être utilisées selon la sévérité des conditions thermiques sur les boîtes d'entrée et de sortie. Le taux de fibres de verre peut également être variable pour limiter au maximum le coût des pièces, en maintenant la performance mécanique pendant toute la durée de vie du véhicule, sachant que sur ces pièces la durée de garantie vis à vis du constructeur est de huit ans.

Une complexité supplémentaire importante pour ces pièces est la présence de condensats acides. Ces condensats sont créés lors du refroidissement de l'air de suralimentation. En effet, l'air d'échappement contient de nombreuses molécules liées à la combustion du carburant qui, en présence d'eau, deviennent fortement acides. Cette acidité a potentiellement un impact sur la durabilité des pièces plastiques, ce qu'il conviendra de vérifier dans le cadre de la thèse proposée.

## Objectifs et étapes de la thèse :

L'objectif central de la thèse est de comprendre et caractériser expérimentalement l'influence du vieillissement acide ou thermique sur les mécanismes et la durée de vie en fatigue, et d'intégrer cet effet dans une démarche numérique d'estimation du nombre de cycles à rupture.

Après une étude bibliographique, il s'agira donc de réaliser des essais de fatigue uniaxiaux sur des éprouvettes à l'état initial (non vieilli) et après vieillissement thermique ou vieillissement en milieu aqueux acide. Pour caractériser les effets de couplage, des essais combinant vieillissement aqueux et fatigue in-situ seront développés. Ils formeront le cœur innovant de l'étude du point de vue expérimental. Dans chacune des conditions, les essais seront réalisés sur des éprouvettes haltères découpées dans des plaques injectées selon trois orientations différentes par rapport à la direction d'injection afin de mettre en relief l'influence des conditions de vieillissement sur les effets d'anisotropie observés en fatigue. Pour chacune des conditions de vieillissement, plusieurs matières utilisées pour les boîtes d'entrée et de sortie pourront être comparées. Les courbes de Wöhler seront établies et des analyses des faciès de rupture permettront de renseigner les parts respectives d'initiation et de propagation.

Parallèlement, les capacités prédictives d'une démarche de dimensionnement, développée à l'Institut Pprime [1], [2], seront testées dans les différentes conditions précitées. Qualifiée de « Through Process Modelling » (TPM), il s'agit d'une démarche complètement intégrée depuis la simulation du procédé jusqu'à l'estimation de la durée de vie par un critère de fatigue énergétique. Elle s'appuie sur un chainage de logiciels commerciaux Moldflow®-Digimat®-Abaqus®. Son point fort réside dans la prise en compte de l'orientation

locale des fibres pour estimer, via un modèle micromécanique, les propriétés mécaniques effectives –et ainsi la grandeur énergétique d’entrée du critère de fatigue– en chaque point matériel du composant/éprouvette étudié. Outre le tenseur d’orientation issu de la simulation d’injection ou pouvant être mesuré dans le cas d’éprouvettes, cette étape de calcul micromécanique suppose de connaître la morphologie des fibres et le comportement mécanique des constituants (fibres de verre et matrice polyamide). La loi de comportement de la matrice, considérée viscoélastique, devra ici être identifiée dans chaque condition de vieillissement de manière inverse à partir du comportement cyclique du composite. Le logiciel Dakota® sera utilisé à cet effet. Du point de vue de la modélisation, un enjeu majeur de la thèse sera d’introduire l’effet du vieillissement aux endroits pertinents de la chaîne de dimensionnement, dans la loi de comportement de la matrice vieillie, et/ou dans la forme du critère de fatigue.

Enfin et afin de se rapprocher au mieux de la vie de l’échangeur, des essais de fatigue en pression pulsée seront réalisés sur démonstrateur CAC afin d’obtenir les nombres de cycles à rupture. Le candidat participera à la réalisation de ces essais sur banc chez l’un des partenaires industriels.

En permettant l’amélioration des connaissances sur le comportement en fatigue dans différentes conditions de vieillissement et la mise en place d’un outil de dimensionnement performant, cette thèse contribuera à pérenniser la solution thermoplastique par rapport à la solution métallique. Bien que les matériaux envisagés ici soient des thermoplastiques renforcés fibres courtes, les compétences expérimentales acquises dans le domaine de la fatigue, les ingrédients, concepts multi-échelles et logiciels manipulés pour les simulations ont un potentiel d’application plus large (composites à renforts continus par exemple).

[1] B. Klimkeit, Y. Nadot, S. Castagnet, C. Nadot-Martin, C. Dumas, S. Bergamo, M.C. Sonsino, A. Buter, *Multi-axial fatigue life assessment for reinforced polymers*. International Journal of Fatigue, Vol. (33), pp. 766-780, (2011). <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2010.12.004>

[2] 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, (2019). <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.03.001>

## Profil recherché :

Nous recherchons un(e) candidat(e) de formation Mécanique, avec des compétences en Mécanique des milieux continus, Mécanique non linéaire, Simulations Eléments Finis (Abaqus®), Méthodes de changement d’échelles (souhaité mais non nécessaire), et un goût prononcé pour l’expérimental. Le (la) doctorant(e) doit être rigoureux(se), méthodique, motivé(e) par un travail de recherche en contexte industriel. Des qualités organisationnelles et relationnelles sont par ailleurs nécessaires pour mener à bien un tel projet collaboratif. Il(elle) doit posséder de bonnes capacités de synthèse et de rédaction. Une bonne maîtrise de l’anglais est également souhaitée.

## Comment postuler ?

Le dossier de candidature (sous format pdf) devra comporter un CV détaillé, une lettre de motivation, les relevés de notes de Master et/ou Ecole d’Ingénieur (même provisoires).

Pour transmettre votre candidature ou obtenir de plus amples informations, vous pouvez contacter :

Sylvie Castagnet ([sylvie.castagnet@ensma.fr](mailto:sylvie.castagnet@ensma.fr)) et Carole Nadot-Martin ([carole.nadot@ensma.fr](mailto:carole.nadot@ensma.fr)).