

Sujet de stage de fin d'études ingénieur ou stage de M2

Étude de la tenue au feu de structures en matériaux composites assemblées par collage

Mots clés : Assemblage collé, matériau composite à matrice organique, adhésif, tenue au feu, caractérisation expérimentale

Durée : 20 semaines avec un démarrage prévu en février/mars 2025.

Projet : Depuis plusieurs décennies, la réduction de l'empreinte carbone des avions est l'un des enjeux principaux du secteur de l'aéronautique. Les avionneurs développent plusieurs technologies pour alléger les structures et ainsi réduire la consommation de carburant. Parmi ces solutions, les matériaux composites à matrice organique (CMO) et les assemblages collés sont largement étudiés et déployés.

Durant leur vie de service, dans des cas critiques rares, ces pièces assemblées à base de polymère peuvent être exposées à des feux pouvant affecter les propriétés mécaniques et l'intégrité des structures. La résistance des structures va dépendre des propriétés thermiques des matrices, des adhésifs, des renforts et de leurs interfaces. La tenue thermique des CMO a largement fait l'objet d'études. En présence d'oxygène et de chaleur homogène, il se produit sur les matrices polymères un vieillissement thermo-oxydatif dont les principales caractéristiques sont une oxydation de surface, des scissions de chaînes macromoléculaires, et des réarrangements moléculaires. Ces dégradations thermiques se traduisent de manière générale par des fissurations, des gonflements provoquant des décohésions fibre/matrice, une diminution de la masse du polymère et la chute de la résistance mécanique avec le temps de vieillissement [1], [2]. La tenue au feu des CMO fait aussi l'objet d'études, notamment au laboratoire GPM (INSA Rouen). En cas de fort flux de chaleur, une décomposition thermique peut s'observer. Des différences d'expansion thermique sont observables entre la matrice qui se déforme et les fibres qui restent plus stables thermiquement, ce qui occasionne des endommagements du CMO comme des fissurations, des bandes de cisaillement et la croissance de cavités. Si le flux de chaleur est hétérogène, comme dans le cas d'un feu, de forts gradients se forment à travers l'épaisseur, amplifiant les discontinuités [3], [4], [5], [6].

La tenue thermique des assemblages collés et de leurs adhésifs a été peu étudiée. Il apparaît que les niveaux de chargement et de déplacement à rupture des assemblages collés diminuent avec la durée de vieillissement thermo-oxydatif [7], [8]. En revanche, la tenue à haute température ou sous flamme des assemblages collés n'est étudiée que dans quelques cas particuliers utilisant des plaques en ciment pour la construction [9], ce qui s'éloigne des applications aéronautiques.

Ainsi, **les enjeux du stage** sont l'étude des conséquences de l'exposition au feu sur la tenue thermomécanique des assemblages collés en CMO et la compréhension des mécanismes de dégradation thermique qui interviennent. Les éprouvettes de l'étude sont des assemblages composés de deux substrats de CMO stratifiés, collés avec un adhésif. Différents substrats seront comparés entre eux. Il s'agit de stratifiés 7 plis en fibres de carbone dont seule la matrice diffère. La nature de la matrice va influencer, d'une part l'adhésion entre les substrats et l'adhésif, et, d'autre part, la stabilité thermique des substrats, ce qui va avoir une influence sur le comportement thermomécanique des assemblages.

Des essais mécaniques de traction à température ambiante et dans un banc brûleur kérosène seront réalisés (Figure 1). Ils seront complétés d'analyses thermiques post-mortem de l'exposition au feu sans sollicitation mécanique afin de comprendre le comportement thermique des éprouvettes. La tenue mécanique des assemblages collés étant dépendante de la nature de l'adhésif et de son adhésion avec les substrats, un volet du projet se consacrera à l'étude des propriétés physico-chimiques, thermiques et mécaniques de l'adhésif choisi dans sa forme massique.

Les **objectifs du stage** sont les suivants :

- 1- Étude bibliographique de la tenue au feu des assemblages collés.
- 2- Étude de l'influence d'une agression thermique homogène (dans un four haute température) sur le comportement thermomécanique d'assemblages collés en CMO stratifiés à fibres de carbone.
- 3- Étude de la tenue au feu des assemblages, sous contrainte mécanique ou non, en fonction de la durée d'exposition ainsi que de la nature de la matrice polymère des substrats : thermodurcissable (époxy) et thermoplastique (PPS, PEEK, PEAK, PEI...).
- 4- Analyse de la décomposition thermique et de l'évolution des propriétés thermiques, mécaniques et morphologiques des assemblages et de leur adhésif.

Le stagiaire recruté sur ce projet travaillera **la majorité du temps à l'Institut Clément Ader (ICA) à TOULOUSE** : réalisation des éprouvettes assemblées et d'adhésif massif, ainsi que caractérisation physico-chimique, mécanique, morphologique, et thermique. **Un séjour au Groupe de Physique des Matériaux (GPM) à ROUEN d'une semaine, pris en charge**, sera prévu pour lui permettre de réaliser l'exposition au feu d'éprouvettes collées ainsi que la caractérisation du comportement mécanique résiduel après agression thermique.

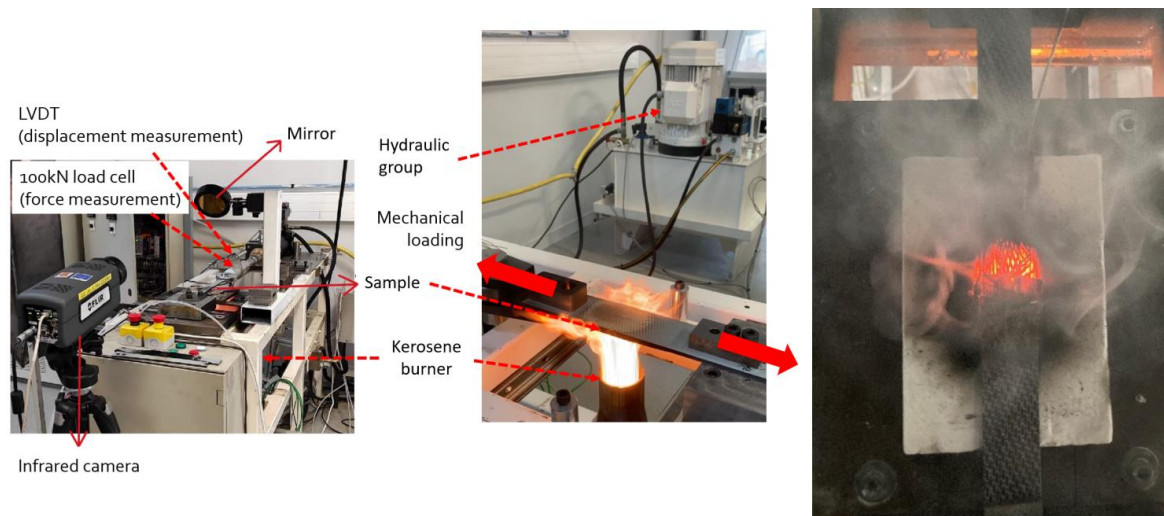


Figure 1- Banc brûleur kérosène au GPM (INSA Rouen) : Éprouvette de CMO stratifié en carbone/PPS exposée à une flamme kérosène durant un essai de traction [4].

Références bibliographiques :

- [1] X. Colin et J. Verdu, « Thermal ageing and lifetime prediction for organic matrix composites », *Plast. Rubber Compos.*, vol. 32, n° 8-9, p. 349-356, 2003, doi: 10.1179/146580103225004117.
- [2] K. V. Pochiraju, G. P. Tandon, et G. A. Schoeppner, *Long-Term Durability of Polymeric Matrix Composites*. Springer Science & Business Media, 2011.
- [3] A. Coppalle, E. Schuhler, A. Chaudhary, et B. Vieille, « Using a New Kerosene Flame Bench Test to Analyze at Small Scales the Fire Reaction of Fiber-Reinforced Polymer Matrix Composites », in *Solutions for Maintenance Repair and Overhaul*, T. H. Karakoc, J. Rohács, D. Rohács, S. Ekici, A. Dalkiran, et U. Kale, Éd., in Sustainable Aviation. , Cham: Springer International Publishing, 2024, p. 447-456. doi: 10.1007/978-3-031-38446-2_49.
- [4] D. Philippe, « About the thermomechanical behavior of thermoplastic composites under critical temperature conditions: a multiscale numerical analysis and experimental characterization », Thèse de doctorat, INSA Rouen, Normandie Université, Groupe de Physique des Matériaux, Rouen, France, 2023. Consulté le: 12 juillet 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://hal.science/tel-04523937/>
- [5] B. Vieille, D. Philippe, N. Duprey, F. Barbe, et M. Gelin, « About the influence of high temperature or fire testing conditions on the tensile behavior of carbon reinforced poly phenylene sulfide laminates », *J. Compos. Mater.*, vol. 58, n° 2, p. 235-250, 2024, doi: 10.1177/00219983231222703.
- [6] B. Vieille, A. Ockier, D. Philippe, T. Davin, J. Vacandare, et F. Barbe, « Tensile behavior of angle ply carbon reinforced PPS laminates under severe thermal aggressions: Homogeneous and heterogeneous temperature conditions », *Polym. Compos.*, p. 28476, 2024, doi: 10.1002/pc.28476.
- [7] J. Masson, « Caractérisation et modélisation de la thermo-oxydation sur le comportement mécanique des assemblages collés structuraux », Thèse de doctorat, ISAE-ENSMA, Institut Pprime, Poitiers, France, 2023. Consulté le: 12 juillet 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://theses.hal.science/tel-04206453/>
- [8] G. Qin, J. Na, W. Mu, et W. Tan, « Effect of thermal cycling on the degradation of adhesively bonded CFRP/aluminum alloy joints for automobiles », *Int. J. Adhes. Adhes.*, vol. 95, p. 102439, 2019.
- [9] N. Pinoteau, P. Pimienta, T. Guillet, P. Rivillon, et S. Rémond, « Effect of heating rate on bond failure of rebars into concrete using polymer adhesives to simulate exposure to fire », *Int. J. Adhes. Adhes.*, vol. 31, n° 8, p. 851-861, 2011.

Laboratoires d'accueil :

Le laboratoire d'accueil pour la majorité du stage est l'Institut Clément Ader (ICA), CNRS UMR n°5312, à Toulouse (<https://ica.cnrs.fr/>).

Le laboratoire d'accueil pour le séjour d'une semaine est le Groupe de Physique des Matériaux (GPM), CNRS UMR n°6634, à Saint-Étienne-de-Rouvray/Rouen (<https://gpm.univ-rouen.fr/fr>).

Profil : En dernière année d'école d'ingénieurs ou de niveau master 2, le candidat doit posséder des compétences scientifiques dans les domaines de la mécanique des structures (caractérisation mécanique) et des sciences des matériaux (matériaux composites à matrice organique).

Candidature : Pour candidater à cette offre de stage en laboratoire de recherche, merci d'envoyer :

- Un CV actualisé ;
- Une lettre de motivation soulignant l'adéquation avec le projet de recherche ;
- Une copie d'une pièce d'identité (laboratoire déclaré en Zone d'accès Restreint (ZRR)) ;

Personnes à contacter :

- Camille GILLET : camille.gillet@insa-toulouse.fr
- Benoit VIEILLE : benoit.vieille@insa-rouen.fr
- Fabrice BARBE : fabrice.barbe@insa-rouen.fr