

Sujet de thèse

Etude expérimentale et numérique du comportement de composites aéronautiques sous flamme et chargement mécanique

Mots clefs : composite aéronautique, flamme, brûleur kérosène, décomposition thermique, couplage thermo-mécanique, simulation numérique

Description du projet

L'utilisation des matériaux composites à matrice organique dans les applications aéronautiques est confrontée aujourd'hui à des normes de sécurité toujours plus exigeantes auxquelles il est impératif d'apporter des réponses fiables et mesurables [1-5]. Aussi, permettre aux industriels de comprendre/prédire la réponse thermomécanique des matériaux composites dans différentes configurations d'utilisation et, *in fine* de leurs pièces et assemblages, est primordial. La demande de moyens de caractérisation expérimentale représentatifs de conditions critiques en service est donc forte de la part des industriels qui ont identifié dans la tenue au feu des matériaux composites à matrice organique un verrou technologique.

Ce sujet de thèse s'inscrit dans la continuité du projet RIN (Réseau d'Intérêt Normand) AEROFLAMME (2018-2021) dont l'objectif principal est d'étudier le comportement de matériaux composites aéronautiques soumis à une flamme kérosène associée à une sollicitation mécanique via le développement d'un banc d'essais spécifique. Un banc d'essais original a été instrumenté à l'échelle laboratoire (par opposition à l'échelle industrielle avec le brûleur certifié Nextgen) permet de reproduire fidèlement de manière répétable et dans des conditions contrôlées les scénarii critiques (incendie en vol) pour caractériser la tenue mécanique au feu des composites dans l'environnement d'un moteur d'avion. Dans le cadre d'une approche multi-physique (couplage physico-chimico-thermo-mécanique) et multi-échelle, on peut ainsi caractériser expérimentalement le comportement sous flamme kérosène de matériaux composites. L'ambition de cette thèse est l'investigation des mécanismes de décomposition thermique et endommagements associés des éléments constitutifs jusqu'à la structure en vol sur une gamme de température allant de la température ambiante à plus de 1150°C (conditions de température normalisées pour une flamme de brûleur kérosène).

En outre, dans le cadre d'une thèse précédente [7], un modèle numérique a été développé dans le code Eléments Finis Z-set pour prédire la dégradation du comportement mécanique lors d'une exposition à un flux thermique [8-10]. Les analyses thermiques réalisées en amont (TGA) ont permis d'identifier les lois de décomposition thermique traduisant la pyrolyse de la matrice polymère en fonction de la température. Pour un flux et une contrainte donnés, le champ de contraintes axiales peut être simulé dans les différents plis (cf. Fig. 1). A partir de la prédiction du gradient de température induit par le flux thermique au sein de la mésostructure, ce modèle de couplage faible thermique-mécanique permet également de représenter l'évolution de la rigidité axiale en fonction de la température. Le travail réalisé permet d'étudier le couplage faible entre l'augmentation de température (résultante d'un incendie) et le comportement mécanique. Les

investigations menées ont notamment permis d'apporter des réponses sur le couplage thermo-mécanique pour une gamme de température allant de l'ambiante jusqu'au début de la décomposition thermique (e.g. environ 500°C). Ce modèle numérique sera donc amélioré pour étendre ses capacités prédictives afin de simuler la dégradation et la réponse mécanique de structures composites à matrice organique dans des conditions critiques de type incendie. Cela passera notamment par la prise en compte d'un modèle de pyrolyse représentatif de la décomposition thermique de la matrice polymère couplé à un modèle d'endommagement continu. Une technique de remaillage permettant de traduire l'apparition et la croissance de porosités au sein de la mésostructure du stratifié sera également mise en œuvre pour prédire la redistribution des contraintes résultantes.

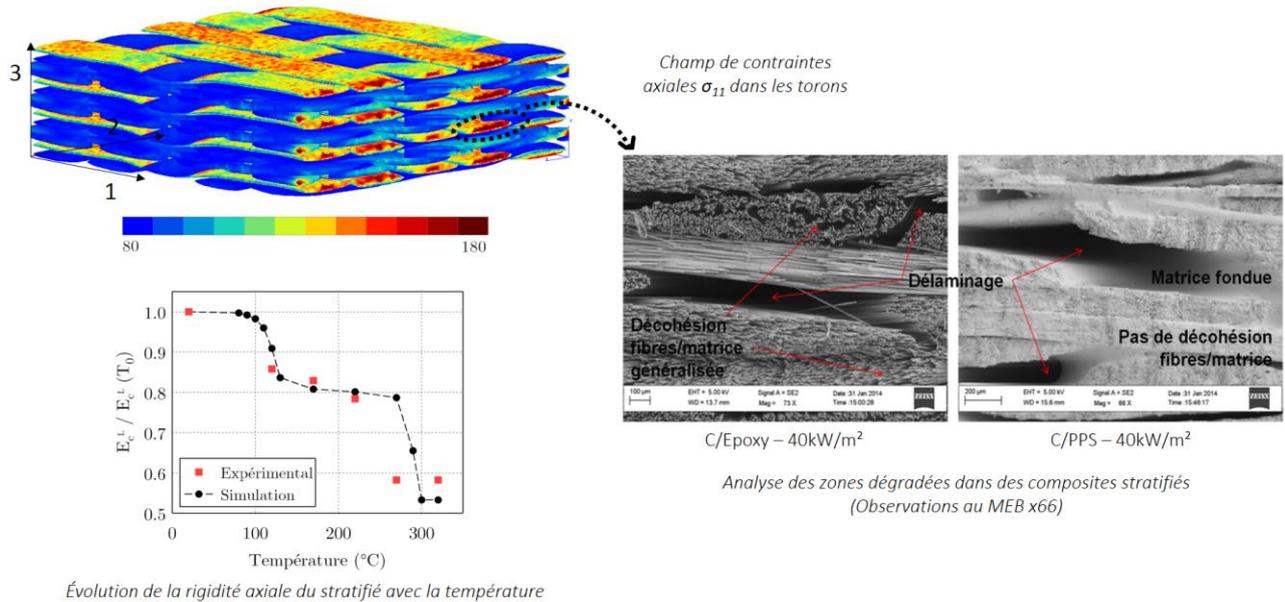


Figure 1 - Simulation du couplage thermique-mécanique faible au sein d'un composite stratifié C/PPS quasi-isotrope soumis à un flux de 50 kW/m² et une contrainte axiale en traction de 60MPa : Distribution des contraintes axiales au sein de la mésostructure - Evolution de la rigidité axiale du stratifié avec la température

Dans ce contexte, les objectifs principaux de cette thèse sont multiples:

- Exploiter la plateforme d'essais (développée dans le cadre du projet Aeroflamme) reproduisant des conditions critiques d'utilisation (flamme de kérosène et chargement mécanique) pour étudier le couplage thermo-mécanique et les mécanismes physiques associés à différentes échelles,
- d'étudier la tenue sous flamme kérosène (thermique et mécanique) de composites aéronautiques stratifiés à matrice thermoplastique PEEK renforcée par des fibres de carbone tissées,
- d'étudier la décomposition thermique à différentes vitesses de chauffage de ces matériaux via des essais de thermo-gravimétrie pour identifier un modèle de pyrolyse représentatif
- de développer un outil de simulation numérique permettant de prédire la décomposition thermique et son influence sur la réponse mécanique. Les données d'entrée seront identifiées à partir des essais de caractérisation. Il s'agit notamment d'implémenter dans un code de calculs par éléments finis (Z-set) le modèle de pyrolyse afin de prédire l'influence de l'apparition et de la croissance des porosités sur les mécanismes de déformation et d'endommagement au sein de la mésostructure.

La thèse repose sur deux axes complémentaires (expérimental et numérique) permettant d'apporter des réponses aux objectifs énoncés précédemment. Le candidat, titulaire d'un diplôme d'ingénieur ou d'un master en sciences des matériaux ou mécanique, devra avoir une bonne formation de base en mécanique, science des matériaux et en thermique. Enfin, une bonne maîtrise de l'anglais (oral et écrit) est incontournable. Cette thèse se déroulera au sein du GPM (Groupe de Physique des Matériaux) en partenariat avec le CORIA (Complexe de Recherche Interprofessionnel en Aérothermochimie), laboratoires de l'INSA Rouen Normandie et de l'Université de Rouen Normandie.

Contacts : Benoit Vieille, et Fabrice Barbe, enseignants-chercheurs au GPM

Benoit.Vieille@insa-rouen.fr – 0232959756

Fabrice.Barbe@insa-rouen.fr

Alexis Coppalle, enseignant-chercheur au CORIA

Alexis.Coppalle@insa-rouen.fr

Rémunération mensuelle: environ 1400 euros net

Références

- [1] CARPIER Y., VIEILLE B., COPPALLE A., BARBE F. About the tensile mechanical behaviour of carbon fibres fabrics reinforced thermoplastic composites under very high temperature conditions. *Composites Part B*, doi: 10.1016/j.compositesb.2019.107586, 2019.
- [2] CARPIER Y., VIEILLE B., DELPOUVE N., DARGENT E. Isothermal and anisothermal decomposition of Carbon fibres polyphenylene sulfide composites for fire behavior analysis. *Fire Safety Journal*, 109: 102868, 2019.
- [3] CARPIER Y., VIEILLE B., MAAROUFI M.A., COPPALLE A., BARBE F. Mechanical behavior of carbon fibers polyphenylene sulfide composites exposed to radiant heat flux and constant compressive force. *Composite Structures*, 200, pp. 1-11, 2018.
- [4] SCHUHLER E., COPPALLE A., VIEILLE B., YON J., CARPIER Y. Behaviour of aeronautical polymer composite to flame: A comparative study of thermoset- and thermoplastic-based laminate. *Polymer Degradation and Stability*, 152, pp. 105-115, 2018.
- [5] MAAROUFI M.A., CARPIER Y., VIEILLE B., GILLES L., COPPALLE A., BARBE F. Post-fire compressive behaviour of carbon fibers woven-ply Polyphenylene Sulfide laminates for aeronautical applications. *Composites Part B*, 119, pp. 101-113, 2017.
- [6] VIEILLE B., COPPALLE A., CARPIER Y., MAAROUFI M.A., BARBE F. Influence of the matrix chemical nature on the post-fire mechanical behavior of notched polymer-based composite structures for high temperature applications. *Composites Part B*, 100, pp. 114-124, 2016.
- [7] CARPIER Y. Contribution à l'analyse multi-échelles et multi-physiques du comportement mécanique de matériaux composites à matrice thermoplastique sous températures critiques. Thèse de Doctorat de l'INSA Rouen Normandie, 2018.
- [8] FEIH S., MATHYS Z., GIBSON A.G., MOURITZ A.P. Modelling the compression strength of polymer laminates in fire, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Volume 38, Issue 11, 2007.
- [9] LIU L., HOLMES J.W., KARDOMATEAS G.A., BIRMAN V. Compressive response of composites under combined fire and compression loading. *Fire Technology*, 47, 985–1016, 2011.
- [10] BHAT T., KANDARE E., GIBSON A.G., DU MODICA P., MOURITZ A.P. Compressive softening and failure of basalt fibre composites in fire: Modelling and experimentation. *Composite Structures*, Volume 165, 15-24, 2017.