

## **Etude du comportement thermomécanique de composites CC 2.5D pour application spatiale**

### **Study on thermomechanical behavior of composites carbon/carbon 2.5D for aerospace applications**

**Capucine Billard<sup>1</sup>, Eric Martin<sup>1</sup>, Olivier Caty<sup>1</sup> Gaëtan Allier<sup>1</sup>, Stéphane  
Jouannigot<sup>1</sup>, Arthur Ferri<sup>1</sup>, Zélie Sennequier<sup>2</sup>, David Hannoun<sup>2</sup>,**

1 : LCTS : Laboratoire des Composites Thermostructuraux, Université de Bordeaux & CNRS-CEA-SAFRAN, 3 allée de la Boétie, 33600 Pessac  
e-mail : billard@lcts-u.bordeaux.fr

2 ArianeGroup, 3, Rue de Touban 33185 Le Haillan

Les composites 3D-Carbone/Carbone sont utilisés dans les secteurs de l'aérospatial et l'aéronautique (col de tuyère de propulsion, bouclier thermique, disques de frein...) en raison de leurs excellentes propriétés thermomécaniques et leur résistance à l'ablation à très haute température. En effet ces matériaux présentent une faible dilatation thermique jusqu'à 2000°C, ce qui est une des propriétés les plus importantes pour les thermostructuraux. Le matériau étudié ici est un composite carbone/carbonate 2,5D (2.5D-C/C), c'est-à-dire qu'il est constitué de nappes de fibres de carbone stratifiées et orientées dans les directions XY et aiguilletées dans la direction Z avant d'être densifié par CVI pour y déposer la matrice en pyrocarbone. Ces matériaux présentent une architecture très complexe et subissent plusieurs traitements thermiques, il est important de maîtriser l'influence des différents paramètres thermique et mécanique pour modéliser et prédire leurs comportements jusqu'à 2000°C.

Des modèles prédictifs basés images et idéaux ont été développés par [CHARRON, GILLARD, 2017] et [RAUDE, 2018] pour différentes classes de composites thermostructuraux. Pour les composites 2.5D-C/C, peu de données sont disponibles pour confronter ces modèles aux cinétiques d'endommagement à cœur, en 3D et dans les conditions de fonctionnement (en particulier à haute température). Le comportement des interfaces est difficile à maîtriser. L'objectif de ce travail est de comprendre le comportement thermoélastique à très haute température, en tenant compte de la structure et des endommagements initiaux à différentes échelles (de l'échelle microscopique à l'échelle macroscopique) et de leur propagation.

Pour mettre en œuvre la caractérisation mécanique à chaud du composite, trois principaux moyens d'essais sont employés. Le premier est un test de traction jusqu'à 1000°C observé en Microscopie Electronique à Balayage (MEB). Il permet une analyse surfacique de l'état initial et de la cinétique d'endommagement à divers grossissements. Le second essai in-situ, développé pour les travaux de cette thèse, est un montage de traction à très haute température (2000°C) sous tomographe (de laboratoire ou synchrotron). Il permet ainsi une observation volumique jusqu'à 2000°C des mécanismes d'endommagement et de rupture sous plusieurs scénarios de charges / températures. Enfin les essais de push-out à haute température (1200°C) ont été développés et utilisés pour déterminer le comportement des interfaces au sein du matériau (interfaces fils/matrice, entre fils, suivant différentes directions...). L'analyse de ces essais et des premiers tests de confrontation expériences / modélisations seront présentés.

---

**Références**

- [1] [Allier, 2018] Allier, G. (2018). Etude et développement d'un dispositif d'analyse du comportement mécanique de composites à matrice céramique sous sollicitation de traction à chaud par tomographie. Rapport Technique, ArianeGroup.
  - [2] [Charron, 2017] Charron, M. (2017). Modélisation basée images du comportement thermomécanique de composite C/C. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux.
  - [2] [Ferri, 2017] Ferri, A. (2017). Etude du comportement thermomécanique de composites C/C aiguilleté. Rapport Technique, ArianeGroup.
  - [4] [Gillard, 2017] Gillard, A. (2017). Caractérisation et modélisation du comportement thermomécanique d'un composite 3D carbone/carbone : étude du comportement aux interfaces à haute température. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux.
  - [5] [Raude,2018] Raude A. (2018). Modélisation thermomécanique d'un composite d'un composite carbone/carbone à structure complexe. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux.
-