

## PROPOSITION DE SUJET DE THESE

**Intitulé : Prévion de la durée de vie des structures composites C/C avec prise en compte des effets de température et d'oxydation**

Référence : **MAS-DMAS-2026-16**

(à rappeler dans toute correspondance)

**Début de la thèse : octobre 2026**

**Date limite de candidature : septembre 2026**

### Mots clés

Composite Carbone/Carbone, Modélisation, Durée de vie, Oxydation, stratégie de calcul

### Profil et compétences recherchées

École d'ingénieur ou Master de recherche

De bonnes connaissances générales en mécanique et en calcul scientifique pour les matériaux et structures.

Maîtrise de la méthode des éléments finis et de la mécanique de l'endommagement.

### Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Les composites à matrice céramique carbone/carbone (C/C) en architecture 2.5 D sont employés depuis plusieurs décennies dans les systèmes de freinage aéronautique (Krenkel, 2008). Ce secteur représente aujourd'hui la plus importante consommation industrielle de Composites à Matrice Céramique. Leur recours s'explique par les températures extrêmement élevées générées lors du freinage ainsi que par les fortes sollicitations mécaniques qui y sont associées. Au-delà des contraintes thermo-mécaniques, l'oxydation à haute température entraîne une réduction notable de la durée de vie des structures considérées. Dans ce contexte, Safran Landing Systems, en partenariat avec Safran Ceramics et des laboratoires académiques partenaires, mène un programme de recherche visant à optimiser cette technologie. L'objectif est de faire progresser les méthodes avancées de prévision de la tenue mécanique et de la durée de vie en approfondissant la compréhension du comportement et de l'endommagement des matériaux composites C/C (Zubiaurre 2024 ; Rahard 2025) dans des conditions d'exploitation variées, allant de la température ambiante à des températures très élevées en présence d'oxydation. Cette démarche est essentielle pour dimensionner de façon optimale les pièces composites C/C, répondre aux exigences actuelles du secteur aéronautique et contribuer à la réduction de son empreinte écologique.

La thèse proposée consistera à mettre en place une chaîne simulation-expérimentation capable de prévoir la durée de vie de structures composites C/C soumises à des chargements réalistes dans un environnement représentatif des problématiques industrielles. Elle visera à valider à l'échelle de la structure un modèle de prévision de la durée de vie spécifiques aux composites tissés 2.5D C/C, intégrant l'influence de l'oxydation sur les propriétés thermo-mécaniques, modèle déjà développé dans les travaux antérieurs à l'ONERA (Rahard 2025), mais uniquement à l'échelle éprouvette élémentaire. Le passage au calcul de structure imposera le développement d'une stratégie de calcul efficace afin d'obtenir des simulations exploitables en un temps raisonnable pour les bureaux d'études et avec un niveau de précision suffisant.

Sur le plan de la modélisation, afin de reproduire un scénario de freinage réel (anisotherme et multiaxial), le modèle d'endommagement incrémental – où les dommages sont calculés à partir de lois d'évolution exprimées en taux d'endommagement plutôt qu'en nombre de cycles – développé par (Rahard 2025) pour les C/C sera étendu à l'échelle de la structure. Ce modèle thermo-mécanique incrémental sera implémenté dans un code commercial éléments finis, prenant en compte un chargement mécanique, thermique (température évoluant de l'ambiante à environ 500°C) et l'effet de l'oxydation sur les propriétés mécaniques. Une procédure de simulation efficace

permettant d'estimer la durée de vie des pièces composites dans un environnement complexe sera étendue à partir des travaux de thèse de Sally (Sally 2020).

La démarche complète sera tout d'abord appliquée à des éprouvettes à concentration de contraintes, de type plaque trouée puis plaque entaillée à différentes températures et avec différents niveaux d'oxydation. Ces essais seront menés à l'ONERA et richement instrumentés (avec de la corrélation d'images, de l'émission acoustique, du suivi optique des dommages) pour valider les scénarios d'endommagement pour des sollicitations de fatigue en présence de gradients de contrainte. Dans un second temps, un cas industriel défini conjointement avec le groupe Safran, sera considéré afin de démontrer la pertinence de la méthodologie sur un problème représentatif de problématique industrielle.

Cette thèse s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche plus large, porté par Safran, visant à améliorer les méthodes de justification des structures. Le projet bénéficie du soutien de la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) et réunit plusieurs entités du groupe Safran ainsi que des laboratoires de recherche français. La thèse sera réalisée en collaboration étroite avec Safran Ceramics et Safran Landing Systems.

Krenkel, W., 2008. CMCs for Friction Applications - Ceramic Matrix Composites - Wiley Online Library.

Sally, O., 2020. Stratégies de calcul pour la prévision de la durée de vie de structures composite: Application aux pièces Oxyde/Oxyde sous chargements complexes en fatigue, thèse de l'Université Paris-Saclay

Rahard, M., 2025. Modélisation du comportement mécanique d'un matériau composite Carbone/Carbone pour freinage aéronautique sous l'influence de son environnement, thèse de l'Université Paris-Saclay

Zubiaurre, T., Lunghi, M., Favergeon, J. et al., 2024. Influence of Oxidation Temperature on the Tensile Behaviour in a 2.5 D Needled Carbon/Carbon Composite for Aircraft Brakes. High Temperature Corrosion of mater. 101, 983–995. <https://doi.org/10.1007/s11085-024-10254-x>

#### **Collaborations envisagées**

Entités SAFRAN (Safran Landing Systems et Safran Ceramics)

#### **Laboratoire d'accueil à l'ONERA**

Département : Matériaux et Structures

Lieu (centre ONERA) : Châtillon

**Contact** : M. Kaminski

Tél. : 0146734751

Email : myriam.kaminski@onera.fr

#### **Directeur de thèse**

Nom : Frédéric Laurin

Laboratoire : ONERA

Tél. : 0146734692

Email : frederic.laurin@onera.fr

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>