

PROPOSITION DE POST-DOCTORAT

Intitulé : Étude du procédé de dépose par AFP de composite Ox/Ox : lien entre propriétés des mèches, stratégie de dépose des bandes et caractéristiques mécaniques du composite

Référence : **PDOC-DMAS-2026-01**

(à rappeler dans toute correspondance)

Début du contrat : Octobre 2026

Date limite de candidature : Novembre 2026

Durée : 18 mois, éventuellement prolongeable à 24 mois - Salaire brut : environ 38 k€ annuel (assurance médicale incluse)

Mots clés

AFP, Composite Oxyde/Oxyde, maillage, jumeau numérique

Profil et compétences recherchées

- Docteur en mécanique
- Expérience en simulation avancée par éléments finis et/ou maillage
- Expérience en Composite à matrice céramique ou organique souhaitée
- Expérience en tomographie appréciée
- Expérience en AFP (Automated Fibre Placement) serait un plus

Présentation du projet post-doctoral, contexte et objectif

Le développement de matériaux composites à matrice céramique (CMC), notamment les composites oxyde/oxyde (O-CMC), représente une avancée majeure pour répondre aux exigences croissantes de performance et de durabilité dans les environnements à haute température. Dans ce contexte, le projet DiOxygen porté par l'IRT Saint Exupéry (IRT SE), vise à développer les O-CMC pour applications multi-domaines à moyennes et hautes températures (300°C à 1100°C). En particulier, un axe du projet porte sur l'élaboration maîtrisée de semi-produits jusqu'à la réalisation de pièces applicatives. Au-delà des propriétés intrinsèques des constituants, la maîtrise des procédés de fabrication joue un rôle déterminant dans leur intégration industrielle. Parmi ces procédés, la dépose automatisée de fibres suscite un intérêt croissant en raison de son potentiel à garantir la répétabilité, la précision et une montée en cadence adaptées aux besoins du secteur aéronautique. Il offre de plus des opportunités de design de la microstructure difficilement accessibles par des techniques de drapage conventionnel et/ou non-automatisé.

Ce travail de post-doctorat s'intéresse ainsi à la dépose par AFP (Automated Fibre Placement) de mèches unidirectionnelles de pré-imprégnées Oxyde/Oxyde. Ces matériaux présentent des caractéristiques qui impactent le procédé de dépose automatisée et la santé matière du composite final. En effet, les propriétés mécaniques intrinsèques de la matrice, les spécificités d'assemblage de mèches et les variabilités de taux d'emport (ratio matrice/fibre) entraînent des écarts à l'attendu, qui sont potentiellement source de faiblesses mécaniques pour le composite. L'objectif de ce post-doctorat est de développer une stratégie de modélisation permettant (i) la génération virtuelle d'un matériau AFP O-CMC à l'échelle mésoscopique (considérant les spécificités AFP, O-CMC et leurs interactions), (ii) la mise en place d'un support élément fini (EF) de ce matériau et (iii) sa simulation efficace sous sollicitation mécanique. In-fine, l'approche mise en place permettra d'évaluer numériquement l'impact des caractéristiques de la mèche et des stratégies de dépose sur la morphologie et les propriétés mécaniques du composite obtenu par AFP.

Pour cela, des stratégies de génération du modèle géométrique de la méso-structure et de son maillage, préalablement mises en œuvre par le partenariat entre l'ONERA et l'Université Technologique de Compiègne, seront adaptées et déployées pour les composites AFP O-CMC. Le modèle EF obtenu représente explicitement les mèches déposées en tenant compte des trajectoires de la tête de dépose. Lorsque le volume étudié est important, ces modèles exigent un très grand nombre de degrés de liberté, ce qui rend le coût de calcul prohibitif avec les méthodes classiques de résolution. Il devient alors indispensable de recourir à des stratégies numériques efficaces, en s'appuyant sur les outils de calcul parallèle développés à l'ONERA. Il conviendra d'évaluer la pertinence de cette approche, puis d'en proposer des améliorations, notamment afin de tenir compte des phases de consolidation et de frittage du procédé, qui peuvent entraîner des modifications géométriques de l'agencement des bandes ou la formation de macroporosité.

Les développements numériques seront menés en s'appuyant sur des déposes expérimentales de mèches Oxyde/Oxyde sur machines représentatives des procédés industriels (échantillons produits ou fournis dans le cadre du projet DiOxygen). Les stratégies de dépose par AFP intègrent le plus souvent des singularités de type espacement (gap) ou chevauchement de mèches (overlap) afin de répondre aux contraintes géométriques des pièces produites. L'impact de ces singularités sur la méso-structure du composite sera étudiée. Pour ce faire, un contrôle de l'architecture interne du matériau par micro-tomographies à rayon X (μ CT) sera réalisé à l'IRT Saint-Exupéry. Les μ CT permettront d'évaluer qualitativement la représentativité des modèles virtuels proposés. Des traitements d'images et de segmentation sur μ CT développés à l'ONERA pourront être déployés pour quantifier l'écart géométrique de nos modèles par la définition de métriques de représentativité. Au-delà, de la représentativité géométrique, une comparaison entre la réponse mécanique prévue et celle mesurée sur une campagne d'essais mécaniques menée à l'ONERA sur des éprouvettes réalisées dans le cadre de ce projet sera réalisée si l'avancée du post-doctorat le permet. Les comparaisons réalisées permettront l'amélioration et la validation de la description géométrique de la méso-structure du modèle virtuel.

Comme nous l'avons vu précédemment, l'objectif de ce post doctorat est donc de développer des outils de modélisation capables de reproduire les particularités géométriques des composites obtenus par AFP. Les modèles numériques mésoscopiques obtenus permettront la prédiction du comportement mécanique du composite. On s'intéressera en particulier à l'influence des stratégies de dépose et aux singularités associées. Ce travail ouvrira la voie à l'optimisation des trajectoires de dépose, à l'analyse des paramètres du procédé AFP dans l'optique d'améliorer la santé matière et les propriétés mécaniques des pièces AFP.

Collaborations extérieures

Consortium DiOXYGEN : IRT Saint Exupéry, Safran Ceramics, PYROMERAL Systems, la DGA - Direction générale de l'armement, MBDA, l'Andra - Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs, le CEA, ArianeGroup, Saint-Gobain, Airbus Helicopters, l'Institut Clément Ader (ICA) et le laboratoire Mateis.

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Matériaux et Structures

Lieu (centre ONERA) : Châtillon

Contacts : Cédric HUCHETTE, Jean BENEZECH, Christian FAGIANO

Tél. : 01 46 73 45 70

Email : cedric.huchette@onera.fr, christian.fagiano@onera.fr,
jean.benezech@onera.fr