

## PROPOSITION DE POST-DOCTORAT

**Intitulé :** Compréhension et modélisation des effets de défauts d'ondulation hors-plan des plis UD au sein de plaques trouées en composite stratifié – comparaison entre des composites à matrice thermodurcissable et thermoplastique

Référence : **PDOC-DMAS-2023-08**  
(à rappeler dans toute correspondance)

**Début du contrat : Janvier 2024**

**Date limite de candidature : fin novembre 2023**

**Durée : 18 mois - Salaire net : environ 25 k€ annuel**

### Mots clés

Composites stratifiés, matrice thermodurcissable et thermoplastique, effets des défauts de fabrication

### Profil et compétences recherchées

Doctorat en mécanique des matériaux

Double compétence en mécanique expérimentale et simulations numériques

### Présentation du projet post-doctoral, contexte et objectif

Des pièces en matériaux composites stratifiés à fibre de carbone sont aujourd'hui utilisées dans un nombre croissant d'applications industrielles hautes performances (aéronautiques et spatiales). Bien que les matrices thermodurcissables restent majoritaires dans ces applications, le regard des principaux avionneurs se tourne vers les composites à matrice thermoplastique. Ces matériaux offrent, entre autres, des possibilités de soudage, un potentiel de recyclabilité ou encore une fabrication de pièces avec des cadences élevées et des procédés de fabrication hors autoclave. Ainsi leur utilisation peut répondre aux exigences industrielles. Néanmoins l'augmentation des cadences de production peut amener à une augmentation du risque de création de défauts d'élaboration (dits initiaux), notamment des défauts d'ondulation hors-plan. Afin de garantir l'intégrité et la sécurité des pièces produites, les industriels ont besoin d'évaluer la nocivité de ces défauts d'ondulation hors-plan sur le comportement mécanique de pièces. Les effets de tels défauts sur les propriétés mécaniques sont dépendants des caractéristiques du défaut, c'est-à-dire, de la géométrie de ce dernier (longueur, amplitude, etc.) mais également de sa position dans la pièce induisant une possible interaction avec les gradients de contraintes engendrés par les singularités géométriques (trou, entaille, etc.) de la structure étudiée. La prévision d'abattements des propriétés mécaniques est clé pour la définition de critères d'acceptation des défauts utilisables à terme par les industriels au sein de sites de production de pièces composites, point nécessaire lors des phases de certification de pièces.

Pour cela, des travaux expérimentaux et numériques ont déjà été réalisés à l'ONERA dans le cadre de la convention DGAC PHYDEFECT en lien avec divers partenaires industriels (AIRBUS, DASSAULT Aviation, NASA, etc.) à l'échelle des éprouvettes élémentaires. Deux matériaux composites de stratifiés de plis d'unidirectionnels sont à l'étude de part leur intérêt industriel : un à fibre de carbone et à matrice thermodurcissable et un autre, également avec des fibres de carbone, mais avec une matrice thermoplastique. Plusieurs éprouvettes lisses avec des défauts d'ondulation initiale de plis ont été fabriquées puis testées en traction et en compression quasi-statique. Cette campagne expérimentale richement instrumentée a mis en avant des effets des défauts importants sur la rupture, mais également sur la fissuration matricielle. D'autre part, elle a permis de valider un modèle d'endommagement progressif développé à l'ONERA (*Onera Progressive Failure Model* - OPFM) et ainsi de souligner le lien entre la géométrie de l'ondulation et les abattements mécaniques observés.

Le but de ce post-doctorat est de réaliser un premier pas vers les structures dans la pyramide de certification en s'intéressant dans un premier temps aux cas de plaques trouées composites. Pour cela, une comparaison des effets des défauts entre un stratifié à matrice thermoplastique et un stratifié à matrice thermodurcissable sera effectuée.

Dans un premier temps, pour chaque matériau, une réflexion sera menée sur l'interaction entre le défaut de fabrication et les gradients de contraintes générées par la singularité géométrique de la plaque trouée sous un chargement de compression (*Open Hole Compression* – OHC). La stratégie et les outils mis en place en amont serviront de base à cette étude. L'étude proposée comprend des travaux expérimentaux, consistant en la fabrication de plaques trouées avec des défauts initiaux et l'analyse des essais multi-instrumentés de compression menés sur les éprouvettes fabriquées. La partie numérique du post-doctorat consiste en la simulation des essais de compression par éléments finis dans le code de calcul Abaqus à l'aide du modèle OPFM. La géométrie du défaut sera explicitement prise en compte dans le maillage à partir d'observations microscopiques ou tomographiques des éprouvettes testées. La comparaison entre simulation numérique et observations expérimentales permettra une meilleure compréhension de l'influence des défauts de fabrication sur les mécanismes d'endommagement dans une structure composite avec gradient de contrainte.

Dans un second temps, les différences d'effets des défauts liés à l'utilisation de deux matériaux (matrice therm durcissable et matrice thermoplastique) pourront être mis en avant, à travers la comparaison d'analyses par éléments finis obtenues pour une même configuration d'ondulation hors-plan générée artificiellement et modélisée pour les deux matériaux.

### **Collaborations extérieures**

Collaborations industrielles possibles avec DASSAULT (lien notamment pour le composite à matrice therm durcissable) et AIRBUS Operations (composite à matrice thermoplastique).

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

Département : Matériaux et Structures

Lieu (centre ONERA) : Châtillon

**Contact :** Martin Hirsekorn  
Christian Fagiano

Tél. : +33(0) 1 46 73 45 82

Email : [martin.hirsekorn@onera.fr](mailto:martin.hirsekorn@onera.fr)

Tél. : +33(0) 1 46 73 45 10

Email : [christian.fagiano@onera.fr](mailto:christian.fagiano@onera.fr)