

## PROPOSITION DE POST-DOCTORAT

**Intitulé :** Proposition d'une stratégie de simulation efficace pour l'estimation des effets des défauts d'ondulation hors-plan des plis UD au sein de cornières composites stratifiées

Référence : **PDOC-DMAS-2021-02**  
(à rappeler dans toute correspondance)

**Début du contrat :** Janvier 2022

**Date limite de candidature :** Décembre 2021

**Durée : 12 mois, éventuellement renouvelable une fois - Salaire net : environ 25 k€ annuel**

### Mots clés

Composites, défauts, Virtual-testing

### Profil et compétences recherchées

Double compétence en mécanique expérimentale et simulations numériques

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

Les matériaux composites stratifiés constitués de plis unidirectionnels à matrice époxy sont susceptibles de présenter des défauts d'ondulations hors-plan de plis, lors des phases de fabrication, qui peuvent induire des abattements des performances mécaniques des structures. Leurs effets 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 fondamentale pour la définition de critères d'acceptation des défauts lors des phases de certification de pièces au sein de sites industriels de production de pièces composites. En revanche, étant donnée l'infinité de configurations possibles des défauts dans une structure, l'estimation de ces abattements est impossible par une approche purement expérimentale. Ce point est aujourd'hui traité industriellement à l'aide de généreux facteurs d'abattement forfaitaires recalés sur les quelques essais disponibles. Une approche de type Virtual-Testing devient alors nécessaire pour une estimation « au juste besoin » des abattements de propriétés dans toutes les configurations possibles de chargement et de défauts et viendra alors compléter avantageusement les quelques données expérimentales disponibles. Un des cas critiques, remontés par nos partenaires industriels, réside dans l'estimation des effets des défauts d'ondulation notamment au sein de structures courbes, telles que les cornières composites stratifiées de plis unidirectionnels, rencontrées dans l'ensemble des structures au sein d'un aéronef.

L'unité MC<sup>2</sup> propose donc un sujet de post-doctorat au sein de DMAS en parallèle de la convention DGAC PHYDEFECT, portant sur le développement d'une chaîne de simulation numérique efficace permettant de prévoir les abattements sur propriétés mécaniques dus à la présence des défauts d'ondulation au sein des cornières composites en IMA/M21ev (matériaux composites therm durcissable de fort intérêt industriel). Ce post-doc sera mené en trois étapes principales. La première étape portera sur la modélisation numérique de configurations de cornières avec défauts testées dans le cadre du projet PHYDEFECT. Ensuite, le modèle de simulation sera validé à travers la comparaison avec les résultats de corrélation d'images. Une fois le modèle validé, une paramétrisation de la géométrie du défaut et de sa position au sein d'une cornière sera mise en place. Cette paramétrisation géométrique du défaut pourra s'appuyer sur des travaux en cours dans le cadre de la convention PHYDEFECT sur structures planes. La valeur ajoutée du travail du candidat portera sur l'adaptation des outils existants dans la suite logiciel Z-set et, surtout, sur la paramétrisation du positionnement du défaut prenant en compte les spécificités d'une structure courbe telle qu'une cornière soumise à des chargements représentatifs de chargements industriels comme un essai de flexion quatre points ou un essai de dépliage. Afin de prévoir la ruine d'une cornière par délaminage, dont la propagation est souvent instantanée et catastrophique, la mise en place de calculs éléments finis prenant en compte les orientations matériau réelles des plis dans et autour des ondulations pour des stratifications complexes devra également être effectuée.

Dans la deuxième étape, un grand nombre de configurations possibles (différents défauts placés à différentes

positions au sein de cornières soumises à différents types de chargements) seront balayées à l'aide d'un plan d'expériences numériques. Toutefois, la réalisation de calculs éléments finis sur cornières composites soumises à des chargements complexes nécessite la prise en compte de non linéarités matériaux, géométriques et du contact avec les rouleaux d'efforts induisant des coûts de calcul non négligeables. Afin de balayer l'ensemble de configurations pertinentes de défauts au sein de cornières, des stratégies de calcul reposant sur de la méta-modélisation reliant l'abattement des propriétés mécaniques (raideur seuil d'endommagement, et force à rupture) aux paramètres de chaque configuration étudiée seront mises en place. Une attention particulière sera portée sur la procédure d'identification de ces méta-modèles vis-à-vis des simulations éléments finis suivant les indicateurs étudiés. Une fois le méta-modèle validé, il sera alors possible de traiter un très grand nombre de configuration de défauts. Il sera également possible à cette étape de comparer les résultats obtenus par les méta-modèles avec les résultats expérimentaux générés en parallèle dans le cadre du projet PHYDEFECT.

Enfin, après avoir démontré la pertinence de cette stratégie de calcul reposant sur la méta-modélisation, une étape d'optimisation de configurations d'essais permettra de déterminer, en regard des cornières saines, quelles sont les configurations de défauts les plus nocifs et ce pour différents types de chargement, d'empilement et d'épaisseur des cornières. L'idée de ces dernières parties consiste à définir des essais qui mettent en évidence les effets de défauts permettant la compréhension des mécanismes sous-jacents et leur interaction avec les défauts. Comme première perspective, les procédures de création de défauts au sein de cornières développées dans le cadre de PHYDEFECT pourraient être mises en œuvre pour générer les pires défauts au sein des cornières qui seraient par la suite soumises aux pires cas de chargement pour la cornière présentant un défaut spécifique. L'ensemble des différents chargements possibles évalués par la stratégie proposée correspondra à des configurations compatibles avec les moyens d'essais actuellement disponibles à l'Onera. Ces derniers présentent plusieurs degrés de liberté optimisables (distances entre rouleaux, angle du rayon, longueur des bras des cornières, etc.). Les paramètres des moyens d'essai pourraient être optimisés à l'aide la chaîne de calcul mise en place pour montrer sa pertinence sur d'autres cas structuraux représentatifs des problématiques industrielles étudiés dans le cadre du projet PHYDEFECT.

#### **Collaborations extérieures**

Collaborations industrielles possibles avec Dassault et Airbus.

Collaborations scientifiques possibles avec le LMT, IRT Saint-Exupéry ou le CETIM.

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

Département : Matériaux et Structures

Lieu (centre ONERA) : Châtillon

**Contact** : Juan-Manuel García

Tél. : +33 1 46 73 45 18

Email : [juan\\_manuel.garcia@onera.fr](mailto:juan_manuel.garcia@onera.fr)