

PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DMAS-2025-14**
(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : ONERA Châtillon

Département/Dir./Serv. : DMAS/M3S

Tél. : 01.46.73.46.58

Responsable(s) du stage : Olivier VOREUX /
Matthieu NICOL

Email. : [olivier.voreux / matthieu.nicol]
@onera.fr

DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Mécanique des milieux continus, mécanique des interfaces, méthodes numériques, mécanique des matériaux, méthode des éléments finis

Type de stage : Fin d'études bac+5 Master 2 Bac+2 à bac+4 Autres

Intitulé : Evaluation de la ténacité interfaciale d'un système barrière thermique sous chargement thermique cyclé en conditions de gradient thermique

Sujet : Dans les moteurs aéronautiques, les aubes de turbines sont soumises à des champs thermomécaniques sévères du fait du passage des gaz de combustion à hautes températures et des pressions élevées. Afin de garantir leur tenue en service, ces aubes, constituées d'un superalliage base Nickel, sont revêtues d'une céramique appelée « barrière thermique » permettant ainsi de limiter leur exposition aux gaz de combustion. Les propriétés thermo-mécaniques de cette céramique permettent une faible conduction du flux thermique au sein de l'aube, limitant alors l'apparition de phénomènes thermiquement activés comme le fluage, l'oxydation ou même la corrosion. La croissance d'une couche d'oxyde en service à l'interface substrat/céramique conduit *in fine* à un système complexe de type multi-couches. Chaque couche de ce système possède un comportement thermo-élasto(-visco)-plastique bien défini et leur interactions nécessitent d'être analysées pour étudier la durée de vie globale du système.

En service, plusieurs mécanismes interagissent et conduisent, suite au vieillissement thermique, au phénomène dit « d'écaillage de la barrière thermique », phénomène très critique puisqu'il conduit à une surexposition du substrat (superalliage) aux gaz de combustion, entraînant alors une baisse de sa tenue en fatigue. L'enjeu pour les motoristes est donc d'anticiper ce phénomène pour garantir l'intégrité des moteurs.

Des études menées précédemment à l'ONERA ont permis de caractériser la ténacité interfaciale de ces systèmes multi-couches, c'est-à-dire la résistance à la propagation de fissure aux interfaces, via des essais de flexion variés sur des échantillons cyclés thermiquement en four au préalable. Un modèle de prévision de la durée de vie à écaillage a ainsi été proposé et a pu être identifié sur la base de ces essais. Toutefois, l'approche abordée pour suivre l'avancée de la fissure et remonter à une ténacité d'interface est restée relativement globale, se basant principalement sur des courbes macroscopiques. Aujourd'hui, les moyens optiques (corrélation d'images numériques) offrent la possibilité d'avoir un suivi plus fin de ce phénomène, motivant alors une meilleure maîtrise de l'essai de caractérisation de la ténacité.

L'objet de ce stage est donc de poursuivre les travaux de caractérisation de la ténacité interfaciale au travers d'essais innovants comprenant :

- l'introduction d'un défaut d'adhérence (de géométrie connue) entre le substrat et la céramique à l'aide d'un choc laser de type LASAT (pour *Laser Shock Adhesion Test* : méthode proposée au Centre des Matériaux de l'Ecole des Mines de Paris pour étudier la durée de vie à écaillage de revêtements en conditions de vieillissement thermique)
- le vieillissement thermique cyclique du système en conditions représentatives (avec/sans gradient thermique dans l'épaisseur)
- la conduite d'un essai de flexion afin d'étudier la propagation du défaut LASAT et remonter à une ténacité interfaciale entre le substrat et la céramique réfractaire

Ce stage se positionne donc autour d'une approche innovante qui requiert une attention particulière sur :

- le suivi du défaut LASAT d'un point de vue expérimental à l'aide d'essais instrumentés (stéréocorrélation d'images, émission acoustique)
- l'analyse et la compréhension des mécanismes qui pilotent l'écaillage au travers d'observations optiques et microstructurales.
- la représentation fine du système multi-couches à l'aide d'un modèle éléments finis en vue de reproduire de manière fidèle les essais et comprendre les mécanismes sous-jacents.

Le candidat, issu d'une formation d'ingénieur ou M2 en mécanique, devra faire preuve de curiosité scientifique, d'autonomie et posséder une certaine appétence pour les travaux expérimentaux.

Le stage entre dans le cadre d'une collaboration entre l'ONERA (Châtillon), le Centre des Matériaux de l'Ecole des Mines de Paris et le groupe SAFRAN via son entité de recherche SafranTech.

Est-il possible d'envisager un travail en binôme ? Non

Méthodes à mettre en œuvre :

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Recherche théorique | <input type="checkbox"/> Travail de synthèse |
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche appliquée | <input type="checkbox"/> Travail de documentation |
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche expérimentale | <input checked="" type="checkbox"/> Participation à une réalisation |

Possibilité de prolongation en thèse : Oui

Durée du stage : Minimum : 5 mois Maximum : 6 mois

Période souhaitée : entre janvier et août 2025

PROFIL DU STAGIAIRE

Connaissances et niveau requis : Mécanique des milieux continus, méthode des éléments finis, mécanique des matériaux	Ecoles ou établissements souhaités : Master 2 recherche ou 3 ^{ème} année d'école d'ingénieur
---	--