



Mastère Spécialisé

Design des Matériaux et des Structures

(DMS)

OFFRE DE SUJET MASTERE DMS 2024/2025

Encadrement

Augustin Parret-Fréaud, Florent Coudon, Lara Mahfouz (Safran Tech), Basile Marchand, Vincent Maurel (Mines Paris)

Titre

Etude numérique multi-échelles de la dégradation des systèmes barrières thermiques sous chargement thermomécanique avec gradient de température

Contexte

Les systèmes barrières thermiques sont utilisés sur les pièces les plus chaudes de la turbine Haute Pression des turboréacteurs d'avion (aubes et distributeurs). Associés à des canaux de refroidissement internes, ce système barrière thermique permet d'augmenter la température des gaz, et donc le rendement du turboréacteur, tout en maintenant une température suffisamment basse pour ne pas endommager le superalliage base nickel monocristallin utilisé dans ces composants. Un des modes de défaillance de ces systèmes barrières thermiques se résume en une séquence (1) d'apparition de micro-fissures à l'interface substrat/revêtement, (2) de délaminage macroscopique et propagation de cette zone délaminée puis (3) d'écaillage d'une partie du revêtement.

Les champs de température dans la structure sont hétérogènes (i) "en surface", lié aux localisations de zones chaudes et froides en fonction de la position sur l'aube, notamment vis-à-vis de perforations utilisées pour le refroidissement, et (ii) "dans l'épaisseur" lié à la faible conductivité thermique de la barrière thermique et au refroidissement interne. La répartition et l'évolution de ce champ volumique de température sont généralement estimées par un modèle thermique à l'échelle de la structure (gradients spatiaux de température de l'ordre du millimètre) avec un maillage volumique de la barrière thermique.

L'amorçage et la propagation d'une fissure à l'interface (i.e. délaminage interfacial) est piloté par l'état mécanique local associé aux incompatibilités de déformation entre les différentes couches micrométriques du système (e.g. désaccord de dilatation thermique, croissance de la couche d'oxyde, ...). En présence d'un gradient de température dans le système (voire d'un gradient mécanique appliqué), l'estimation analytique des champs locaux dans le système est difficile à obtenir. C'est pourquoi, des calculs éléments finis avec une représentation explicite des couches et de leur évolution sont conduits (taille des couches de l'ordre de quelques microns) [1]. Cependant, malgré les progrès effectués, de tels calculs restent inenvisageables à l'échelle de pièce complètes, ce qui limite leur portée au cadre d'éprouvettes simplifiées.

Objectif et travail proposé

L'objectif du projet consiste à proposer un schéma numérique de type zoom structural [2] permettant de coupler, au sein d'une même analyse, un modèle macroscopique sur structure complète avec un modèle microscopique sur une zone d'intérêt, permettant d'estimer finement l'état mécanique local dans les différentes couches du système barrière thermique et aux interfaces. Ce type d'approche est peu à peu employé au sein de Safran pour la prise en compte des détails géométriques (micro-perforations) lors du dimensionnement des structures chaudes [3]. Cependant, leur extension au contexte de ce projet amène des difficultés supplémentaires liées principalement au traitement de l'incompatibilité entre les modèles aux deux échelles [4].

La première étape consistera à proposer un schéma numérique pour des chargements macroscopiques purement thermiques (représentatif par exemple d'essais sur banc à flamme). Une seconde étape consistera à étendre ce schéma numérique à des structures qui présentent des zones pré-délaménées (fissures d'interface millimétriques).

L'ensemble des développements réalisés feront l'objet de preuves de concept sur structures académiques, puis, si le temps le permet, d'une application progressive sur des structures semi-industrielles de complexités croissantes.

Compétences et profil demandé

Le sujet convient à un candidat ayant un profil mécanique des matériaux et des structures avec un goût prononcé pour les méthodes numériques, ou de profil mathématiques appliquées et qui souhaite mettre en œuvre ses connaissances dans des calculs de structures, analyse numérique et programmation (Python).

Conditions : Ingénieur et/ou Master recherche - Bon niveau de culture générale et scientifique. Bon niveau de pratique du français et de l'anglais. Bonnes capacités d'analyse, de synthèse, d'innovation et de communication. Qualités d'adaptabilité et de créativité, de la rigueur de l'autonomie et une grande force de proposition.

Références bibliographiques

[1] Mahfouz, Lara, et al. "Driving forces in thermal barrier coatings blistering." *Materialia* 28 (2023): 101728

[2] L. Gendre, O. Allix, P. Gosselet, et F. Comte, « Non-intrusive and exact global/local techniques for structural problems with local plasticity », *Comput Mech*, vol. 44, no 2, p. 233-245, juill. 2009, doi: 10.1007/s00466-009-0372-9.

[3] M. Blanchard, « Méthode global/local non-intrusive pour les simulations cycliques non-linéaires », phd thesis, Université Paris-Saclay, 2018. Disponible sur: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01852574>

[4] G. Guguin, « Stratégie non-intrusive de couplage plaque/3D pour la simulation des assemblages de plaques composites stratifiées », phd thesis, Ecole Normale Supérieure Paris-Saclay, 2014.