

Sujet de Thèse

Chaire TOPAZE

Contexte

Formation des fissures de fatigue au sein des superalliages à base nickel : simulation numérique et analyse expérimentale

La chaire industrielle TOPAZE, co-financée par l'ANR et le groupe SAFRAN, porte sur la maîtrise des microstructures et propriétés mécaniques des superalliages à base nickel employés dans les moteurs d'avion et d'hélicoptère de nouvelle génération. Ces matériaux sont employés pour la fabrication de pièces de turboréacteurs en raison de leur tenue mécanique à haute température. L'amélioration des performances de ces alliages permettra d'élever la température de fonctionnement des moteurs et d'en améliorer le rendement, contribuant ainsi à la réduction du coût énergétique et de l'impact écologique du transport aérien.

La chaire TOPAZE fait suite à la chaire industrielle ANR-Safran OPALE (2015-2019). Elle réunit les compétences du CEMEF (MINES ParisTech, UMR CNRS 7635) concernant l'évolution des microstructures au cours des opérations de mise en forme et celles de l'Institut P' (ISAE-ENSMA, UPR CNRS 3346) concernant l'impact de la microstructure sur les propriétés mécaniques en service et la durabilité. Le programme de travail TOPAZE comprend 8 thèses sur la période 2020-2024, avec des sujets à dominante expérimentale, numérique ou mixtes, et couvrant de multiples domaines : Science des matériaux, Métallurgie physique, Mécanique des matériaux, Analyse microstructurale avancée, Simulation numérique. La chaire TOPAZE offre un environnement de travail particulièrement riche, en interaction avec de multiples experts académiques et industriels.

Pour en savoir plus sur les chaires industrielles ANR-Safran OPALE et TOPAZE :

<https://chaire-opale.cemef.mines-paristech.fr>

<https://chaire-topaze.cemef.mines-paristech.fr>

Sujet de thèse

La formation des fissures de fatigue (et fatigue-fluage) au sein des alliages métalliques polycristallins est un phénomène s'opérant à l'échelle d'un grain. La localisation des sites d'amorçage dépend très fortement de l'activité de glissement plastique à cette échelle, elle-même pilotée par la microstructure locale, i.e. en particulier la configuration cristallographique locale ou « cluster » de grains [1, 2]. La caractérisation tridimensionnelle (3D) de la microstructure polycristalline et sa prise en compte dans l'analyse des sites d'amorçage (d'un point de vue expérimental et par le biais de simulations numériques) sont essentielles pour une meilleure compréhension et prédiction de ces processus [2].

Les travaux seront appliqués aux superalliages base nickel polycristallins forgés γ/γ' (de type AD730, René65, Udimet720).

L'objectif principal de cette thèse est la réalisation de simulations numériques en champs complets (notamment par la méthode des éléments-finis) de la réponse mécanique d'un agrégat polycristallin soumis à un chargement suffisamment représentatif d'un composant en service (fatigue, fatigue-fluage). Le domaine de simulation et maillage décrira un agrégat de grains représentatifs généré par différentes méthodes et outils complémentaires développés au sein de l'institut Pprime et du CEMEF. Les lois de comportement utilisées seront de type élasto-visco-plastique cristalline rendant compte de l'anisotropie de comportement d'un grain en fonction de son orientation cristallographique. Les champs locaux simulés seront ensuite analysés durant une phase de post-traitement afin d'identifier les grandeurs pertinentes indicatrices de la formation de fissures de fatigue (FIP=fatigue indicator parameters [3]).

La thèse comportera également une partie expérimentale incluant la réalisation d'essais de fatigue interrompus et l'analyse statistique des modes d'endommagement et des sites d'amorçage de fissures par observation en microscopie électronique à balayage (MEB) et mesures d'orientations cristallographique (EBSD) sur la surface des éprouvettes. Certains domaines autour de sites d'amorçage judicieusement sélectionnés, notamment en termes de représentativité, seront caractérisés et reconstruits en 3D. Ce travail, rendu possible par les moyens expérimentaux de microscopie 3D acquis récemment au CEMEF, se fera en lien avec une thèse CEMEF démarant en 2020. Les agrégats polycristallins 3D issus de cette caractérisation seront directement utilisés pour les simulations numériques. Cela permettra d'évaluer leurs capacités prédictives et la pertinence des indicateurs (FIP) utilisés.

[1] Y. Guilhem, Thèse de doctorat Mines ParisTech, 2011.

[2] L. Signor et al., Mat. Sci. Eng. A 649, p. 239-249, 2016.

[3] D. L. McDowell & F. P. E. Dunne, Int. J. Fatigue 32, p.1521-1542, 2010.

Profil – compétences recherchées

- Formation d'ingénieur ou master en mécanique des solides et des matériaux,
- Goût pour la recherche, pour les techniques d'analyse de pointe et pour la modélisation,
- Programmation informatique, traitement et analyse de données
- Rigueur et capacité à s'investir pleinement dans un sujet ; Aptitude au travail en équipe
- La maîtrise de la langue anglaise est indispensable

Equipe d'accueil et lieu

La thèse se déroulera principalement à l'institut Pprime à l'ISAE-ENSMA (près de Poitiers). L'encadrement sera assuré par Patrick VILLECHAISE (DR-CNRS) et Loïc SIGNOR (MCF-ENSMA), avec le concours de Marc BERNACKI (Prof. MINES ParisTech, CEMEF).

Financement

Chaire ANR-Safran TOPAZE

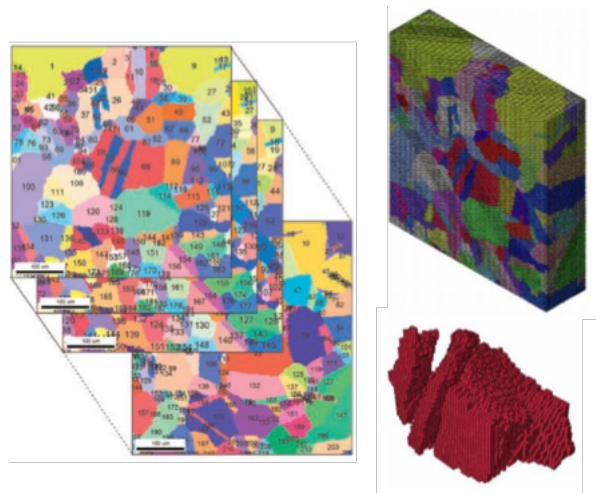
Mots-clés

Simulation numérique ; Plasticité cristalline, Microstructure polycristalline ; Fatigue ; Superalliages ; Aéronautique

Dossier de candidature

Pièces à envoyer à loic.signor@ensma.fr,
patrick.villechaise@ensma.fr,
marc.bernacki@mines-paristech.fr:

- CV détaillé
- Relevés de notes des trois dernières années et classement dans la promotion
- Lettre de motivation
- Deux lettres de recommandation



Simulation des champs mécaniques locaux au sein d'un agrégat de grains (matériau cfc). Amorçage d'une fissure de fatigue au niveau des zones de plus fortes concentrations en déformation [2].